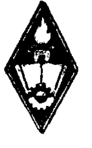
А. И. ГУЛЕВИЧ, А. П. КИРЕЕВ

ПРОИЗВОДСТВО СИЛОВЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Издание четвертое, исправленное и дополненное

Одобрено Ученым советом
Государственного комитета СССР
по профессионально-техническому образованию
в качестве учебного пособия
для подготовки рабочих на производстве



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1981

ББК 31.264.6
Г 94
УДК 621.319.45

Рецензент: Апостолатов Г. А., канд. техн. наук

Со всеми замечаниями и предложениями просим обращаться по адресу: *Москва, 101430, Неглинная ул., 29/14, издательство «Высшая школа».*

Гулевич А. И., Киреев А. П.

Г 94 Производство силовых конденсаторов: Учеб. пособие для подгот. рабочих на пр-ве.— 4-е изд., испр. и доп. — М.: Высш. школа, 1981.— 284 с., ил.— (Профтехобразование. Энергетика).

В пер.: 50 к.

В книге в доступной форме изложены основные свойства, описаны конструкции и технология производства силовых конденсаторов, применяемых в электротехнике и энергетике. Особое внимание уделено вопросам намотки секций, сборки пакетов, вакуумной сушки, пропитки и испытания конденсаторов; приведено современное производственное оборудование.

В четвертом издании учтены изменения, происшедшие в производстве силовых конденсаторов в связи с внедрением новых материалов, конструкций и технологии изготовления.

Книга предназначена для подготовки рабочих основных профессий конденсаторного производства: намотчиц, прессовщиц, паяльщиков, сборщиков конденсаторов, пропитчиков, регенераторщиков, испытателей.

Г $\frac{30309-144}{052(01)-81}$ 40—81 2302030000

6П2.1
ББК 31.264.6

ПРЕДИСЛОВИЕ

В процессе развития производительных сил, в работе по ускорению научно-технического прогресса и повышения эффективности производства важное место занимает электротехническая промышленность — основная техническая база электрификации нашей страны.

Возрастающий ввод энергетических мощностей требует установки в сетях энергосистем, а также на промышленных и сельскохозяйственных предприятиях значительного количества силовых конденсаторов для повышения коэффициента мощности.

Конденсаторы широко применяют для компенсации реактивной мощности электротермических установок, пуска и работы конденсаторных электродвигателей, компенсации реактивной мощности и обеспечения нормальной работы люминесцентных светильников. Конденсаторы используют также в фильтрах преобразовательных подстанций, в устройствах емкостного отбора мощности, для осуществления высокочастотной связи по высоковольтным линиям электропередачи, в современных мощных выключателях высокого напряжения, высоковольтных трансформаторах и т. д.

В последние годы значительно расширилась сфера применения конденсаторов в связи с использованием силовых полупроводниковых (тиристорных) преобразовательных устройств для управления электроприводом. Импульсные силовые конденсаторы применяют при исследовании управляемых термоядерных реакций, при создании мощных импульсных источников света.

Быстрое развитие науки и техники постоянно требует расширения масштабов производства и создания новых силовых конденсаторов.

Успешное решение задач, поставленных перед силовым конденсаторостроением, возможно только при подготовке высококвалифицированных рабочих основных профессий конденсаторного производства.

Рабочие конденсаторного производства должны обладать необходимым мастерством, потому что от них в первую очередь зависит качество и надежность выпускаемых конденсаторов, а также такие экономические показатели предприятий, как производительность труда, себестоимость и прибыль. Хорошие профессиональные знания и навыки рабочих позволяют экономить дорогостоящие конденсаторные материалы, энергоресурсы и более эффективно использовать оборудование и приспособления.

Учебное пособие составлено с учетом знаний, полученных учащимися в общеобразовательной школе, и содержит элементы инженерно-технических знаний, необходимых для овладения профессиональным мастерством.

Знакомство с производством силовых конденсаторов необходимо не только работникам, непосредственно связанным с производством силовых конденсаторов, но и широким кругам работников других специальностей, занимающихся эксплуатацией и ремонтом конденсаторов.

Глава I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРАХ

§ 1. Краткий обзор истории конденсаторостроения

Электрическим конденсатором называется устройство, состоящее из двух (или нескольких) проводников, или обкладок, разделенных диэлектриком. Конденсатор предназначен для использования его электрической емкости.

В XVIII в. в науке об электричестве господствовало представление о существовании «электрических жидкостей». Приборы, применявшиеся для сгущения, или конденсирования, этих жидкостей (накопления электрических зарядов), были названы «конденсаторами». Название «конденсатор» сохранено до настоящего времени.

Первым конденсатором, появившимся в 1745—1746 гг., была лейденская банка, изобретенная в Померании Э. Клейстом и проф. Лейденского университета П. Мушенброком, ставшая школьным пособием по физике.

В России конденсаторы впервые были использованы в 1752 г. М. В. Ломоносовым и Г. В. Рихманом при изучении атмосферного электричества. В электротехнике конденсаторы стали применять с 1877 г., когда русский ученый П. Н. Яблочков предложил для схем электрического освещения использовать наряду со стеклянными конденсаторы из парафинированной бумаги. Однако необходимость широкого промышленного производства конденсаторов возникла только после изобретения А. С. Поповым в 1895 году радио.

В этот период появляются конденсаторы с различными диэлектриками: слюдяные, воздушные, электролитические. За рубежом начинается выпуск бумажных силовых конденсаторов.

Начало отечественного конденсаторостроения относится к 1920—1930 гг., когда на заводах радиотехнической промышленности появились подсобные конденсаторные цехи.

Силовые бумажно-масляные конденсаторы для повышения коэффициента мощности впервые были разработаны в 1932 г. научно-исследовательским сектором Киевского политехнического института под руководством М. М. Морозова и выпускались опытными мастерскими

института. В 1935 г. начался выпуск силовых конденсаторов на Московском трансформаторном заводе, а в 1938 г. — на Киевском заводе электротехнической аппаратуры.

После окончания Великой Отечественной войны в ряде городов СССР строят специализированные заводы по массовому выпуску конденсаторов и осваивается выпуск технологического оборудования и контрольно-измерительной аппаратуры для оснащения конденсаторного производства. Производство силовых конденсаторов организуется в Серпухове (1944), а затем в Усть-Каменогорске (1959) и в Ленинакане (1969).

Для обеспечения конденсаторного производства инженерными кадрами при кафедре электроизоляционной и кабельной техники Ленинградского политехнического института под руководством В. Т. Ренне начинается подготовка инженеров по конденсаторостроению. Инженерные кадры по электроизоляционной технике, в частности по конденсаторостроению, готовят также на кафедрах электротехнических материалов и кабелей Московского ордена Ленина энергетического и Харьковского ордена Ленина политехнического институтов.

Продолжается работа по повышению качества и стандартизации материалов, применяемых в конденсаторостроении. В 1963 г. создается отраслевой научно-исследовательский институт в Серпухове, а в 1969 г. — Московское научно-производственное объединение «Конденсатор». В 1978 г. создано производственное объединение «Конденсатор», куда вошли Серпуховской завод «Конденсатор», Усть-Каменогорский конденсаторный завод имени XXV съезда КПСС и Всесоюзный научно-исследовательский институт силового конденсаторостроения (ВНИИСК).

Отечественные конденсаторные заводы в настоящее время полностью удовлетворяют потребности страны в силовых конденсаторах и экспортируют их во многие страны мира. По выпуску силовых конденсаторов наша страна занимает одно из ведущих мест в мире.

§ 2. Основные области применения конденсаторов

В современной технике конденсаторы служат для различных целей. По области применения все конденсаторы можно разделить на две большие группы: радиоконденсаторы, используемые в технике слабых токов, и силовые конденсаторы, применяемые в технике сильных токов и высоких напряжений.

Конденсаторы первой группы используют в телефонии и телеграфии, радиотехнической, телевизионной и радиолокационной аппаратуре, в автоматике и телемеханике, в счетно-решающих устройствах и электроизмерительной технике, фотографии и т. д.

Конденсаторы второй группы применяют: для повышения коэффициента мощности промышленных и индукционных электротермических установок; продольной компенсации реактивного сопротивления дальних линий электропередачи; высокочастотной связи и защиты линий электропередачи высокого напряжения; отбора мощности от линий передачи высокого напряжения; фильтров тяговых подстанций; генераторов импульсных токов и напряжений; пуска конденсаторных электродвигателей; бесконтактных рудничных электровозов; разрушения твердых пород, очистки литья, штамповки (на основе электрогидравлического эффекта); ультразвуковых установок; тиристорного управления электроприводом и т. д.

В современной технике в зависимости от области применения и условий работы используют различные типы конденсаторов размером от нескольких миллиметров до метра и более и массой от нескольких частей грамма до нескольких тонн. Емкость конденсаторов составляет от нескольких пикофарад до десятков тысяч микрофарад в одной единице. Рабочие напряжения конденсаторов могут быть от нескольких вольт до нескольких сотен киловольт.

§ 3. Электрическое поле

Если в каком-либо пространстве находятся электрические заряды, они взаимодействуют друг с другом, причем заряды, имеющие одинаковый знак, отталкиваются друг от друга, а противоположных знаков притягиваются друг к другу.

Пространство, в котором проявляется действие электрических зарядов, называется *электрическим полем*, а электрическое поле вокруг неподвижного заряда — *электростатическим*.

Модуль силы электростатического взаимодействия двух точечных заряженных тел (Н) прямо пропорционален произведению количества электричества на этих телах и обратно пропорционален квадрату расстояния между ними, если размеры тел малы по сравнению с расстоянием между ними:

$$F = q_1 q_2 / 4\,\pi\varepsilon_0\,\varepsilon\,r^2,$$

где q_1 и q_2 — модули зарядов, Кл (1 кулон равен заряду $6{,}28 \cdot 10^{18}$ электронов); $\varepsilon_0 = 1/36\ \pi \cdot 10^9$ — электрическая постоянная, Ф/м; ε — относительная диэлектрическая проницаемость, показывающая, во сколько раз при прочих равных условиях сила взаимодействия двух электрических зарядов в какой-либо среде меньше, чем в вакууме. Относительная диэлектрическая проницаемость является безразмерной величиной и для вакуума принята равной единице; r — расстояние между зарядами, м.

Произведение электрической постоянной и относительной диэлектрической проницаемости называется а б с о л ю т н о й д и э л е к т р и ч е с к о й п р о н и ц а е м о с т ь ю: $\varepsilon_a = \varepsilon_0\,\varepsilon$.

Поскольку относительная диэлектрическая проницаемость ε для вакуума равна единице, то абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума ε_a равна электрической постоянной ε_0.

Интенсивность электрического поля оценивается по механическим силам, с которыми поле действует на заряженные тела. За количественную меру интенсивности поля принимают механическую силу, с которой поле в данной точке пространства действует на единичный положительный заряд, помещенный в эту точку. Указанная величина называется н а п р я ж е н н о с т ь ю э л е к т р и ч е с к о г о п о л я $E = F/q$. Единицей измерения напряженности электрического поля является вольт на метр

$$[E] = \frac{F}{q} = \frac{\text{Н}}{\text{Кл}} = \frac{\text{Дж}}{\text{м} \cdot \text{Кл}} = \frac{\text{Кл.В}}{\text{м} \cdot \text{Кл}} = \frac{\text{В}}{\text{м}}.$$

Электрическое поле, напряженность которого в разных точках пространства одинакова по величине и направлению, называется однородным.

Напряженность однородного электрического поля (В/м), воздействующая на диэлектрик, находящийся

между обкладками конденсатора, определяется как отношение приложенного к обкладкам напряжения к расстоянию между ними: $E = U/d$.

§ 4. Электрическая емкость. Понятие о поляризации

Основным свойством конденсатора, определяющим его способность накапливать и удерживать на обкладках электрический заряд, является э л е к т р и ч е с к а я

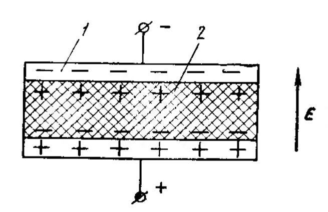


Рис. 1. Распределение зарядов в поляризованном диэлектрике плоского конденсатора:
1 — обкладка, *2* — диэлектрик

е м к о с т ь, или просто е м к о с т ь. Емкость конденсатора определяется отношением заряда на его обкладках к напряжению между ними: $C = Q/U$. Единицей емкости является фарада (Ф). Заряд конденсатора Q измеряется в кулонах, а напряжение U — в вольтах.

Фарада — очень крупная единица емкости, поэтому обычно пользуются более мелкими единицами: микрофарадой (мкФ), составляющей миллионную часть фарады, и пикофарадой (пФ), которая равна одной миллионной части микрофарады: 1 мкФ $= 1 \cdot 10^{-6}$ Ф; 1 пФ $= 1 \cdot 10^{-6}$ мкФ $= 1 \cdot 10^{-12}$ Ф.

Емкость конденсатора зависит от его геометрических размеров. Чем больше площадь обкладок и меньше расстояние между ними, тем больше емкость конденсатора. Кроме того, на величину емкости конденсатора влияет диэлектрик (разделяющий обкладки), который характеризуется а б с о л ю т н о й д и э л е к т р и ч е с к о й п р о н и ц а е м о с т ь ю.

Емкость плоского конденсатора (Ф), состоящего из двух обкладок, разделенных диэлектриком (рис. 1), $C = \varepsilon_0 \varepsilon S/d$, где S — площадь обкладок, м²; d — толщина диэлектрика, м.

Заменяя ε_0 числовым значением $\left(\varepsilon_0 = \frac{1}{36\,\pi \cdot 10^9}\ \text{Ф/м}\right)$, получим емкость, мкФ, $C = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \frac{\varepsilon S}{d}\,\text{Ф} = 8{,}85 \cdot 10^{-6} \frac{\varepsilon S}{d}$.

Обычно конденсаторы большой емкости состоят из нескольких параллельно соединенных единичных конденсаторов, называемых секциями. Конденсаторы высокого напряжения монтируют из ряда последовательно соединяемых секций. Применяют также смешанное (па-

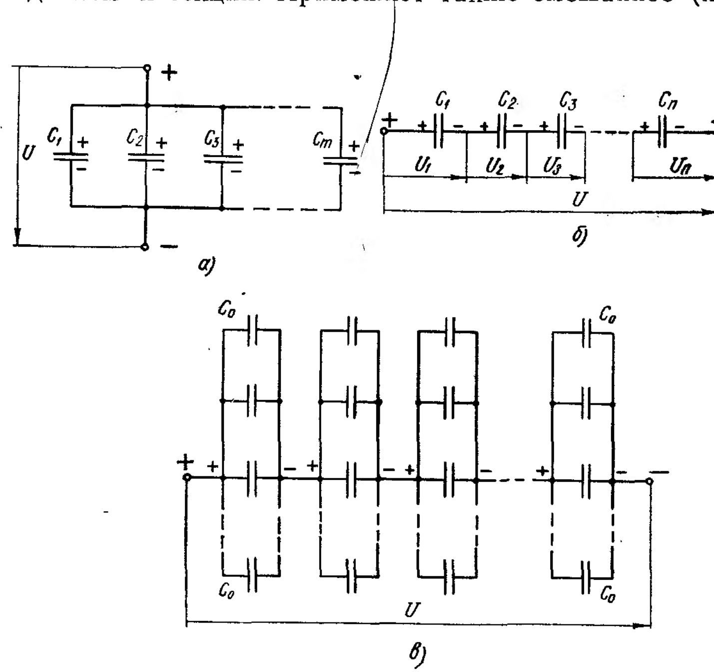


Рис. 2. Соединение секций конденсаторов:
а — параллельное, *б* — последовательное, *в* — параллельно-последовательное

раллельно-последовательное) соединение секций в конденсаторе.

Как известно из электротехники, при параллельном соединении секций (рис. 2, *а*) общая емкость конденсатора равна сумме емкостей отдельных секций: $C=C_1+C_2+C_3+...+C_m$.

Если все секции имеют одинаковую емкость C_0 и число таких секций m, общая емкость конденсатора при параллельном соединении $C=mC_0$.

При последовательном соединении секций (рис. 2, *б*) величина, обратная общей емкости конденсатора, равна сумме величин, обратных емкостям отдельных секций:

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}+\ldots+\frac{1}{C_n}.$$

Общая емкость конденсатора всегда меньше самой малой из всех емкостей соединенных секций.

Если все секции имеют одинаковую емкость C_0 и число таких секций n, общая емкость конденсатора при последовательном соединении $C=C_0/n$.

При смешанном соединении секций (рис. 2, *в*), имеющих одинаковую емкость C_0 и собранных из n последовательно соединенных групп секций, где каждая группа составлена из m параллельно соединенных секций, общая емкость конденсатора

$$C=mC_0/n.$$

Очень часто конденсаторы, как и секции, соединяют в группы, называемые батареями. Соединение конденсаторов выполняют параллельно, последовательно или смешанно. Общую емкость батареи определяют по тем же формулам, что и при соединении секций в конденсаторах.

Если к конденсатору подключить источник постоянного напряжения (см. рис. 1), на его обкладках появятся электрические заряды, которые создадут электрическое поле напряженностью E. Под действием сил этого поля электроны в атомах диэлектрика сместятся относительно ядра и вместе с ним образуют упругосвязанные противоположные заряды, называемые диполями.

Диполи внутри диэлектрика выстраиваются вдоль электрического поля. Положительные заряды диполей смещаются в сторону отрицательных зарядов соответствующей обкладки конденсатора, а отрицательные — в сторону положительных зарядов другой обкладки. Таким образом, заряды на обкладках конденсатора оказываются связаны зарядами диполей диэлектрика. При исчезновении электрического поля заряды возвращаются в исходное положение и диполи также исчезают.

Молекулы некоторых диэлектриков содержат в своем составе связанные между собой положительные и отрицательные заряды, которые являются готовыми диполями. Эти диполи, обычно расположенные хаотично, под действием электрического поля поворачиваются вдоль

него и также связывают заряды на обкладках конденсатора. При исчезновении электрического поля диполи вновь располагаются беспорядочно.

Смещение упругосвязанных электрических зарядов и ориентация дипольных молекул диэлектрика под действием электрического поля называется поляризацией диэлектрика. Поляризация, связанная со смещением электронов в атоме, называется электронной, а диэлектрики, в которых проявляется только электронная поляризация, называют неполярными. Электронная поляризация не связана с потерями энергии и происходит практически мгновенно. Она бывает во всех диэлектриках независимо от наличия в них других видов поляризации.

Поляризация, связанная с поворотом диполей в диэлектрике, называется дипольной, а диэлектрики, в которых проявляется дипольная поляризация, — полярными. Дипольная поляризация связана с потерями энергии, затрачиваемой на преодоление внутреннего трения при повороте диполей, и происходит не мгновенно, а в течение определенного времени.

Кроме указанных видов поляризации различают ионную, структурную, межслойную и другие виды поляризации диэлектриков. Ионная поляризация происходит в кристаллах с ионным строением и подобно электронной поляризации практически мгновенно. Межслойная поляризация проявляется в слоистых и неоднородных диэлектриках при низких частотах и обусловлена ограниченным перемещением слабо связанных или свободных ионов. Структурная поляризация происходит в твердых веществах, молекулы которых содержат полярные группы, и связана с потерями энергии.

Исследования показывают, что чем сильнее поляризуется диэлектрик в электрическом поле, тем выше его относительная и абсолютная диэлектрические проницаемости и тем бóльшую емкость можно получить у конденсатора заданных размеров.

Практически приходится пользоваться только величиной относительной диэлектрической проницаемости ε (слово «относительная» в дальнейшем изложении опускается).

Диэлектрическая проницаемость вакуума принята за единицу. У большинства газов и паров она близка к единице, в то время как у ряда других веществ диэлектрическая проницаемость значительно больше единицы, а в отдельных случаях достигает даже нескольких тысяч.

Величину диэлектрической проницаемости можно определить как отношение емкости конденсатора с диэлектриком из данного вещества к емкости конденсатора тех же размеров, но диэлектриком которого является вакуум: $\varepsilon = C/C_0$.

Величина диэлектрической проницаемости для разных диэлектриков различна и в той или другой степени зависит от частоты тока и температуры.

§ 5. Сопротивление изоляции конденсаторов

Если к диэлектрику, находящемуся между обкладками конденсатора, приложить постоянное напряжение, то по окончании заряда конденсатора через диэлектрик будет проходить электрический ток, называемый током утечки или током сквозной проводимости. Ток утечки вызывается тем, что реальные диэлектрики несовершенны, так как в них имеются свободные заряды в виде ионов и электронов. Под действием электрического поля положительные заряды диэлектрика будут двигаться к отрицательно заряженной обкладке, а отрицательные заряды — к положительно заряженной обкладке. Дойдя до обкладок, заряды нейтрализуются. Движение зарядов внутри диэлектрика вызывает также прохождение тока во внешней цепи.

Диэлектрики могут иметь ионную или электронную проводимость в зависимости от преобладания в них свободных ионов или электронов. Однако в большинстве случаев приходится считаться только с наличием ионной проводимости.

Зная приложенное к обкладкам конденсатора напряжение U и значение тока утечки $i_{ут}$, можно определить сопротивление изоляции конденсатора, оказываемое прохождению постоянного тока: $R_{из} = U/i_{ут}$.

Обычно сопротивление изоляции конденсатора очень велико, поэтому его принято выражать не в омах, а в мегомах (МОм). Ток утечки выражается в микроамперах (мкА), а напряжение — в вольтах: 1 МОм $= 1 \cdot 10^6$ Ом; 1 А $= 1 \cdot 10^6$ мкА.

Сопротивление изоляции конденсатора является одной из его качественных характеристик. Чем больше сопротивление изоляции, тем выше качество диэлектрика.

При больших емкостях (свыше 0,1 мкФ) качество диэлектрика конденсаторов часто характеризуют произведением сопротивления изоляции конденсатора на его емкость ($R_{из}C$), которое называется **постоянной времени конденсатора** и выражается в мегомах на микрофараду (МОм · мкФ), в омах на фараду (Ом · Ф) или в секундах

$$\text{Ом}\cdot\text{Ф} = \frac{\text{В}}{\text{А}} \cdot \frac{\text{А}\cdot\text{с}}{\text{В}} = \text{с}.$$

В реальном конденсаторе зарядный ток спадает до нуля значительно медленнее, чем в идеальном конденсаторе, что обусловлено наличием дополнительного зарядного тока конденсатора, возникающего в результате относительно медленного перемещения электрических зарядов в толще диэлектрика (межслойная поляризация и т. д.), называемого **током абсорбции**. Этот ток сопровождает ток утечки. В зависимости от свойств диэлектрика спадание абсорбционного тока до нуля происходит в различные промежутки времени, достигающие 30—60 мин, после чего через конденсатор будет проходить только ток утечки.

Обычно, чтобы определить сопротивление изоляции, ток измеряют через минуту после подачи напряжения на конденсатор. Поэтому при вычислениях получают некоторые условные значения сопротивления изоляции, которые из-за тока абсорбции могут быть значительно занижены по сравнению с величинами, определяемыми только током утечки. С наличием тока абсорбции связано также уменьшение емкости конденсатора при повышении рабочей частоты и быстрой смене циклов заряд — разряд.

Сопротивление диэлектриков зависит от влажности и температуры окружающей среды: с их увеличением сопротивление диэлектриков резко уменьшается. В некоторых случаях на величину сопротивления диэлектриков влияет напряженность электрического поля.

§ 6. Конденсаторы в цепи постоянного тока

При подключении к конденсатору постоянного напряжения U между его обкладками создается электрическое поле, под действием которого диэлектрик поляризуется. Одновременно во внешней цепи по проводникам,

соединяющим обкладки с источником электроэнергии, будет проходить зарядный ток. Изменение зарядного тока в общем случае показано на рис. 3.

При включении напряжения зарядный ток i_0 имеет наибольшее значение. Затем ток быстро спадает и достигает установившегося значения, равного току утечки $i_{ут}$.

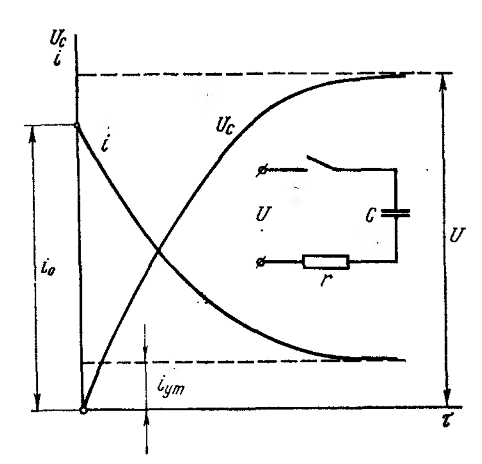


Рис. 3. Заряд конденсатора в цепи постоянного тока

Для идеального конденсатора ($i_{ут}=0$) начальное значение тока определяется сопротивлением только внешней цепи: $i_0 = U/r$.

Значение спадающего тока в любой промежуток времени может быть определено как $i = i_0 e^{-\frac{\tau}{rC}}$, где e — основание натуральных логарифмов ($e=2{,}72$); τ — время от момента включения, с; rC — постоянная времени заряда конденсатора, с.

По мере накопления зарядов на обкладках конденсатора напряжение U_C на конденсаторе будет возрастать, приближаясь к напряжению U на зажимах источника. Возрастание напряжения показано на рис. 3 кривой U_C, а величина его в любой промежуток времени может быть определена по формуле

$$U_C = U\left(1 - e^{-\frac{\tau}{rC}}\right).$$

Заряд конденсатора связан с накоплением в нем электрической энергии, Дж (или Вт·с), $W=CU^2/2$, где C — емкость, Ф; U — напряжение, В.

Если конденсатор, заряженный до напряжения U, замкнуть на сопротивление r, то по сопротивлению пойдет ток. Энергия, запасаемая в электрическом поле конденсатора, будет расходоваться на нагрев сопротивления. Конденсатор в данном случае является источником энергии.

По мере расходования энергии напряжение U на выводах конденсатора снижается в соответствии с зависимостью

$$U_C=U e^{-\frac{\tau}{rC}}.$$

Начальное значение разрядного тока $i_0=U/r$.

При дальнейшем разряде конденсатора характер спадания тока будет аналогичен характеру спадания напряжения U_C. Разряд конденсатора широко используется в технике для получения кратковременных больших разрядных токов.

Если конденсатор, заряженный до напряжения U, оставить разомкнутым, с течением времени напряжение будет снижаться в результате саморазряда, обусловленного токами утечки. Разрядным сопротивлением в этом случае служит сопротивление изоляции $R_{из}$ конденсатора. В процессе саморазряда скорость снижения напряжения на выводах конденсатора определяется постоянной времени конденсатора $R_{из}C$

$$U_C=U e^{-\frac{\tau}{R_{из}C}}.$$

Если $\tau=R_{из}C$, то $U_C=Ue^{-1}\approx 0{,}37U$, т. е. постоянная времени конденсатора численно выражается количеством секунд, необходимых для того, чтобы напряжение на выводах конденсатора в процессе саморазряда упало до 37% начального значения, или это то время, в течение которого конденсатор разрядился бы (зарядился) полностью, если бы при его разряде (заряде) разрядный (зарядный) ток оставался равным начальному значению. Процесс разряда или заряда можно считать закончившимся спустя время, равное трем постоянным времени.

В современных конденсаторах постоянная времени может достигать нескольких суток, что позволяет использовать конденсаторы в ряде областей новой техники (в электрических дозиметрах для измерения интенсивности радиации и др.).

Конденсаторы с замедленной поляризацией (с абсорбцией) при кратковременном замыкании на малое сопротивление («накоротко») разряжаются и напряжение на их обкладках спадает до нуля. Однако после размыкания обкладок напряжение может снова возрасти до заметной величины вследствие накопления на обкладках остаточного заряда, что объясняется относительно медленным перемещением зарядов в толще диэлектрика, т. е. *замедленной деполяризацией*. Остаточное напряжение составляет незначительную часть зарядного напряжения, но в конденсаторах с высоким рабочим напряжением может представлять опасность для обслуживающего персонала. Поэтому такие конденсаторы при разряде должны быть замкнуты «накоротко» длительное время.

§ 7. Конденсаторы в цепи переменного тока

Из электротехники известно, что если к зажимам активного сопротивления подается переменное синусоидальное напряжение, то протекающий по сопротивлению ток является, как и напряжение, синусоидальным; одновременно с напряжением ток достигает максимальных и минимальных значений и также одновременно меняет знак (направление) при переходе через нулевое значение, т. е. напряжение на концах активного сопротивления и ток, проходящий по цепи, совпадают по фазе.

Действующее значение тока определяется по закону Ома $I=U/r$. Среднее значение мощности для цепи, содержащей активное сопротивление, находят по формуле: $P=IU=I^2r=U^2/r$. Единицей мощности, как и для постоянного тока, является ватт.

Помимо активного сопротивления цепи переменного тока, содержащие индуктивность (катушки трансформаторов, двигателей) и емкость (конденсаторы), обладают реактивным сопротивлением. Сопротивление катушек называется *индуктивным сопротивлением цепи* или *реактивным сопротивлением индуктивности*. Сопротивление конденсаторов называется *емкостным сопротивлением* или *реактивным сопротивлением емкости*.

Реактивное сопротивление катушек обусловлено возникновением в них электродвижущей силы (эдс) самоиндукции, которая направлена навстречу приложенному напряжению и создает сопротивление прохождению переменного тока.

Индуктивное сопротивление (Ом) зависит от частоты переменного тока, проходящего в цепи, а также от величины индуктивности и определяется по формуле: $x_L = \omega L = 2\pi f L$, где $\omega = 2\pi f$ — круговая частота, рад/с; L — индуктивность, Гн; f — частота, Гц.

Если к зажимам катушки с активным сопротивлением, равным нулю, подается переменное синусоидальное напряжение, протекающий по катушке ток, как и напряжение, является синусоидальным, но отстает от него на 90° (сдвиг по фазе), что обусловлено возникновением эдс самоиндукции. Действующее значение тока, проходящего по катушке, $I = U/x_L = U/2\pi f L$.

Мгновенное значение мощности для такой цепи определяется произведением мгновенных значений напряжения и тока. Однако среднее значение мощности за период равно нулю. В цепи происходит обмен энергией между генератором и катушкой и энергия не расходуется.

Для количественной оценки интенсивности обмена электрической энергией между источником и реактивной (индуктивной) нагрузкой введено понятие реактивной мощности $Q_L = UI = I^2 x_L = U^2/x_L$. Выражая напряжение в вольтах и ток в амперах, получим Q_L в вольт-амперах реактивных (вар); реактивная мощность, в 1000 раз бо́льшая, называется киловольт-ампером реактивным (квар).

Реактивное сопротивление конденсатора обусловлено появлением на его обкладках напряжения, равного по величине и противоположного по знаку приложенному напряжению. Если к конденсатору приложить переменное синусоидальное напряжение (рис. 4), он будет все время заряжаться и разряжаться, потому что напряжение на его обкладках будет изменяться как по величине, так и по направлению. Вследствие этого в цепи пойдет ток, который будет определяться реактивным емкостным сопротивлением конденсатора (Ом): $x_C = 1/\omega C = 1/2\pi f C$, где C — емкость конденсатора, Ф; f — частота, Гц.

Из приведенного уравнения видно, что сопротивление конденсатора переменному току зависит как от величины емкости, так и от частоты тока. С увеличением емкости и частоты тока реактивное сопротивление уменьшается.

Свойство конденсаторов не пропускать постоянный ток и пропускать переменный, а также изменять величину реактивного сопротивления в зависимости от частоты тока широко используется в технике: для разделения постоянной и переменной составляющих напряжения в выпрямителях, разделения токов различной частоты в аппаратуре высокочастотной проводной связи, подавления радиопомех и т. д.

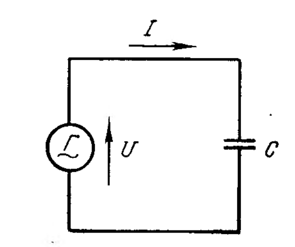


Рис. 4. Цепь переменного тока, содержащая емкость

Если конденсатор подключить к сети переменного синусоидального напряжения, в цепи пойдет ток также синусоидальной формы, но будет опережать напряжение сети на 90°.

Таким образом, если в цепи с катушкой напряжение опережает ток на 90°, в цепи с конденсатором оно отстает на 90°. Это важное свойство конденсаторов широко используется для повышения коэффициента мощности промышленных установок, имеющих индуктивную нагрузку.

Изменения напряжений, приложенных к конденсатору, U_C и на обкладках конденсатора e_C, тока i и мощности p показаны на рис. 5, *а*, *б*. Если напряжение сети увеличивается, конденсатор заряжается (первая четверть периода); ток в цепи имеет то же направление, что и напряжение. Когда напряжение достигнет амплитудного значения, заряд конденсатора прекращается; ток в цепи равен нулю. Во вторую четверть периода напряжение уменьшается и конденсатор начинает разряжаться; ток в цепи меняет направление и т. д.

Действующее значение тока, проходящего в цепи, которая содержит конденсатор, $I = U/x_C = 2\pi f C U$.

Мгновенное значение мощности для такой цепи определяется произведением мгновенных значений напряжения и тока. Однако среднее значение мощности за период равно нулю.

В первую и третью четверти периода энергия поступает в цепь от внешнего генератора и накапливается в

электрическом поле конденсатора. Во вторую и четвертую четверти периода энергия, запасенная в электрическом поле конденсатора, возвращается к генератору. Таким образом происходит обмен энергией между генератором и конденсатором и она не преобразуется в другие виды энергии. Для количественной оценки интенсивности обмена энергией между емкостной нагрузкой (конденсатором) и источником, так же как и при расчете цепи с индуктивной катушкой, пользуются понятием реактивной мощности.

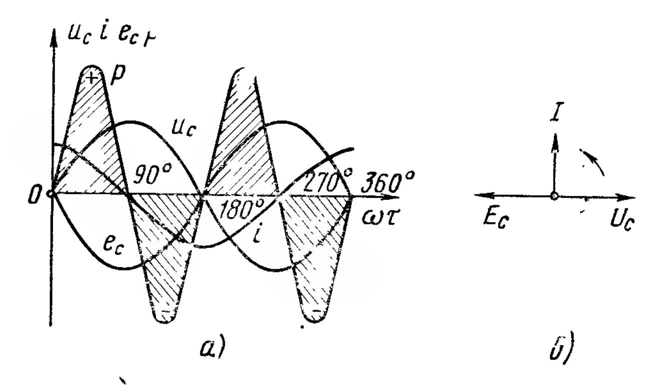


Рис. 5. Кривые мгновенных значений приложенного напряжения, напряжения конденсатора, тока и мощности для цепи, содержащей емкость (*а*), и векторная диаграмма (*б*)

Реактивная мощность емкости $Q_C = UI = I^2 x_C = U^2/x_C = 2\pi f U^2 C$ измеряется в вольт- или киловольт-амперах реактивных.

Последовательное соединение активного сопротивления, индуктивности и емкости. Резонанс напряжений. На рис. 6, *а*, *б* показаны схема и векторная диаграмма цепи с последовательным соединением активного сопротивления, индуктивности и емкости. Для любого участка такой цепи сила протекающего тока одна и та же. Напряжение на зажимах цепи равно сумме падений напряжения на отдельных участках цепи: активного падения напряжения $U_а$ и падения напряжения на индуктивном U_L и емкостном U_C сопротивлениях. Напряжения U_L и U_C сдвинуты между собой по фазе на полпериода (180°), поэтому при геометрическом сложении векторов

они взаимно вычитаются. Из векторной диаграммы имеем

$$U = \sqrt{U_а^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{I^2 r^2 + I^2 (x_L - x_C)^2} = I\sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2} = IZ,$$

где $Z = \sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2}$ и называется **полным** **сопротивлением цепи**.

Для приведенной цепи закон Ома будет выражаться формулой: $I = U/Z$.

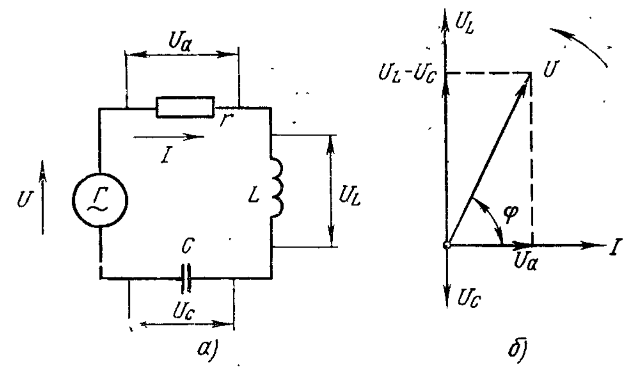


Рис. 6. Схема (*а*) и векторная диаграмма (*б*) цепи с последовательным соединением активного сопротивления, индуктивности и емкости

В частном случае, когда $x_L = x_C$ или $\omega L = 1/\omega C$ (индуктивное и емкостное сопротивления равны), $Z = \sqrt{r^2 + 0} = r$ и закон Ома будет $I = U/r$, т. е. состояние цепи такое, как будто она содержит только активное сопротивление, а ток и напряжение сети совпадут по фазе. Это явление называется **резонансом напряжений**. Сила тока при резонансе напряжений достигает наибольшего из всех возможных значений и определяется только активным сопротивлением цепи.

Поскольку при резонансе индуктивное и емкостное сопротивления равны между собой, индуктивная и емкостная составляющие напряжения на них также равны. При этом реактивное напряжение на индуктивности и емкости может быть значительно больше, чем напряжение, приложенное к зажимам всей цепи.

Из равенства $\omega L = 1/\omega C$ видно, что резонанс напряжений в цепи может быть получен изменением емкости, индуктивности или частоты тока сети.

Параллельное соединение индуктивности и емкости. Резонанс токов. На рис. 7, *а, б* показаны схема и векторная диаграмма цепи с параллельным соединением индуктивности и емкости, напряжение на которых одинаково и равно напряжению сети. Ток I, проходящий на общем участке цепи, равен геометрической сумме токов, проходящих по индуктивности L и емкости C. Ток в ветви с индуктивностью отстает по фазе от приложенного напряжения на 90°, а в ветви с емкостью опережает напряжение на 90°. Следовательно, токи I_L и I_C направлены в противоположные стороны и общий ток $I=I_L-I_C$.

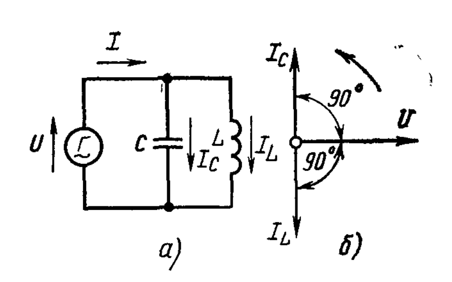


Рис. 7. Схема (*а*) и векторная диаграмма (*б*) цепи с параллельным соединением индуктивности и емкости

Если индуктивное и емкостное сопротивления равны, равны и токи, проходящие через них: $I_L=I_C$ или $U/x_L=U/x_C$. Это явление называется резонансом токов. Токи, проходящие в ветвях с индуктивностью и емкостью, при резонансе токов могут быть во много раз больше тока в неразветвленном участке цепи. Сила тока в неразветвленном участке будет определяться только активным сопротивлением цепи и совпадать по фазе с напряжением.

При отсутствии потерь энергии на индуктивности и емкости (идеальный случай) ток в неразветвленной части цепи равен нулю. Энергия переходит поочередно из одной параллельной ветви в другую.

Резонанс токов в цепи может быть получен, так же как и резонанс напряжений, изменением индуктивности, емкости или частоты. Явление резонанса токов и напряжений широко используется в современной технике.

Коэффициент мощности. Исходя из векторной диаграммы, приведенной на рис. 6, *б*, можно получить следующие соотношения между напряжениями:

для общего напряжения цепи

$$U=\sqrt{U_а^2+U_р^2},$$

где $U_р=U_L-U_C$;

для активного падения напряжения

$$U_а=U\cos\varphi;$$

для реактивного падения напряжения

$$U_р=U\sin\varphi.$$

Угол φ (фи) — угол сдвига фаз между током I и напряжением U, обусловленный наличием реактивного сопротивления в цепи.

Перемножая полное, активное и реактивное напряжения на ток, получим соответственно выражения для мощности:

полной

$$S=UI=\sqrt{U_а^2I^2+U_р^2I^2}=\sqrt{P^2+Q^2};$$

активной

$$P=UI\cos\varphi=S\cos\varphi;$$

реактивной

$$Q=UI\sin\varphi=S\sin\varphi,$$

где S — полная, или кажущаяся, мощность, измеряемая в вольт-амперах (В·А) или киловольт-амперах (кВ·А).

Из выражения для активной мощности можем получить соотношение $\cos\varphi=P/S$, называемое коэффициентом мощности или косинусом фи ($\cos\varphi$) и представляющее собой отношение активной мощности к полной мощности цепи. Только активная мощность является полезной, так как она превращается в тепловую, механическую или световую энергию.

Реактивная мощность не является полезной и характеризует часть энергии, получаемую от источника переменного тока потребителем и возвращаемую обратно источнику тока. Поэтому следует уменьшать потребление реактивной энергии, т. е. повышать коэффициент мощности. Чем меньшую часть кажущейся мощности составляет реактивная мощность, тем выше коэффициент мощности, который равен единице при чисто активной нагрузке, когда вся мощность является активной. В других случаях коэффициент мощности меньше единицы.

§ 8. Потери энергии и тангенс угла потерь конденсатора

В реальном конденсаторе, включенном в электрическую цепь, наряду с обменом энергии между конденсатором и источником некоторая часть энергии расходуется на нагрев конденсатора и рассеивается в окружающей среде. Нагрев ухудшает качество диэлектрика и снижает электрическую прочность конденсатора.

Потери энергии в конденсаторе складываются из потерь энергии в диэлектрике $P_д$ и потерь энергии в металлических частях $P_м$.

Потери энергии в диэлектрике объясняются:

потерями проводимости, которые характеризуются током утечки;

дипольными потерями, обусловленными вращением дипольных молекул или перемещением полярных групп в переменном электрическом поле;

потерями от ионизации воздушных включений в диэлектрике.

Потери энергии в металлических частях вызываются потерями на нагрев обкладок, контактов и выводов при прохождении по ним тока, а также вибрацией обкладок.

Таким образом, полные потери энергии в конденсаторе (активная мощность P) в единицу времени

$$P = P_д + P_м.$$

Практически полные потери в конденсаторе

$$P = Q \operatorname{tg}\delta = 2\pi f U^2 C \operatorname{tg}\delta,$$

где $\operatorname{tg}\delta$ — тангенс угла потерь конденсатора. Из приведенной формулы может быть определена величина $\operatorname{tg}\delta = P/Q$, т. е. отношение активной мощности конденсатора к реактивной. Эта величина является одной из основных качественных характеристик конденсатора.

Схема замещения реального конденсатора с активными потерями может быть представлена в виде емкости и параллельно включенного сопротивления (рис. 8) и в виде емкости и последовательно включенного сопротивления (рис. 9). Из приведенных векторных диаграмм видно, что угол φ представляет собой угол сдвига по фазе между током и напряжением в конденсаторе. Угол δ дополняет угол φ до 90° и называется **углом потерь**.

Тангенс угла потерь может быть выражен через параметры схемы C и r:

для параллельной схемы

$$\operatorname{tg}\delta = I_a/I_p = I_a/I_C = \frac{U}{r}/U\omega C = 1/r\omega C,$$

для последовательной схемы

$$\operatorname{tg}\delta = U_a/U_p = U_a/U_C = Ir\frac{I}{\omega C} = r\omega C.$$

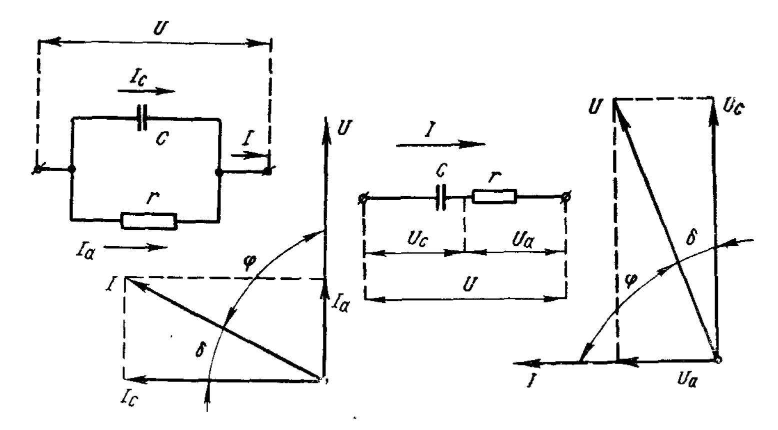


Рис. 8. Параллельная схема, эквивалентная конденсатору с потерями, и векторная диаграмма

Рис. 9. Последовательная схема, эквивалентная конденсатору с потерями, и векторная диаграмма

В этих формулах емкости C выражены в фарадах, а сопротивления r, представляющие собой значения, эквивалентные потерям в конденсаторе, — в омах.

Параллельная схема может быть применена в том случае, если потери преобладают в диэлектрике, а последовательная — если потери преобладают в металлических частях конденсатора.

Тангенс угла потерь конденсаторов зависит от их конструктивных особенностей, рода диэлектрика и уровня технологии производства. На тангенс угла потерь оказывают влияние также температура, частота и напряжение тока. В практике очень часто величину тангенса угла потерь выражают не в абсолютных единицах, а в процентах.

Величина тангенса угла потерь силовых бумажных конденсаторов обычно находится в пределах 0,0015—0,004, или 0,15—0,4%. Например, у конденсатора с реактивной мощностью $Q=100$ квар при $\operatorname{tg}\delta=0{,}2\%$ активные потери в виде тепла

$$P=Q\operatorname{tg}\delta=\frac{100\cdot 0{,}2}{100}=0{,}2 \text{ кВт, или } 200 \text{ Вт.}$$

§ 9. Общие сведения о пробое диэлектриков. Электрическая прочность конденсатора

Электрическая прочность является одной из основных характеристик изоляционных материалов, с помощью которой оценивается способность диэлектрика выдерживать без пробоя воздействие электрического поля.

Количественно электрическая прочность представляет собой напряженность электрического поля при пробое и определяется как отношение пробивного напряжения к толщине диэлектрика

$$E_{пр}=U_{пр}/d.$$

Если напряжение выражать в вольтах, а толщину диэлектрика в микронах, то единицей напряженности электрического поля будет вольт на микрон (В/мкм).

Для твердых диэлектриков различают два вида пробоя: тепловой и электрический.

Тепловой пробой твердого диэлектрика заключается в его термическом разрушении вследствие нагревания, вызываемого диэлектрическими потерями, и происходит при нарушении в диэлектрике теплового равновесия, т. е. когда количество тепла, выделяющегося в диэлектрике под действием приложенного напряжения, превышает количество тепла, отводимого от диэлектрика во внешнюю среду. Поэтому очень большое значение имеют условия охлаждения диэлектрика. При тепловом пробое пробивная напряженность является характеристикой не столько диэлектрика, сколько изготовленного из него изделия (например, конденсатора).

Электрический пробой твердого диэлектрика заключается в разрушении структуры вещества под действием сил электрического поля и возникает в результате развития ударной ионизации электронами и увеличения количества свободных электронов (появления

добавочной электронной проводимости) при достаточно высокой напряженности электрического поля.

Электрический пробой обычно наблюдается в диэлектриках, обладающих высокими значениями удельного объемного сопротивления и низкими значениями тангенса угла потерь, когда тепло от диэлектрических потерь не оказывает заметного влияния на электрические процессы в диэлектрике.

Для развития и окончания электрического пробоя требуется небольшой промежуток времени, порядка 10^{-6}—10^{-8} с. Поэтому температура окружающей среды при электрическом пробое не оказывает заметного влияния на электрическую прочность.

Действительную электрическую прочность диэлектрика можно узнать только при пробое его в однородном электрическом поле. На практике для определения электрической прочности выбирают соответствующую форму электродов (диски с закругленными краями) и образцов. В обычных условиях неоднородного поля средняя электрическая прочность заметно снижается из-за краевого эффекта (повышенной напряженности поля у краев электродов).

Пробой газообразных диэлектриков рассматривают как следствие развития ударной ионизации при высоких значениях напряженности электрического поля. Пробой газа происходит тогда, когда кинетическая энергия свободных электронов, движущихся в газе под воздействием электрического поля, делается достаточной для того, чтобы при ударах о встречные молекулы вызвать ионизацию последних и создать новые электроны и положительные ионы, которые затем также участвуют в ионизации. В результате лавинного процесса образования свободных зарядов резко возрастает сила тока и наступает пробой газа.

Электрическая прочность газов в условиях нормального давления относительно невелика. Для воздуха в однородном электрическом поле при расстоянии между электродами 1 мм $E_{пр}\approx 2\div 3$ В/мкм. С повышением давления электрическая прочность газов возрастает.

На электрическую прочность жидких диэлектриков сильно влияют влага, газы, механические и химические примеси. Примеси значительно осложняют механизм пробоя жидких диэлектриков. Существует механизм пробоя жидких диэлектриков.

Существует несколько теорий, по которым пробой

связывают с перегревом жидкости и разрушением ее молекул.

Электрическая прочность газообразных и жидких диэлектриков, так же как и твердых, в неоднородном электрическом поле сильно снижается.

Электрическая прочность конденсаторов зависит прежде всего от качества диэлектрика, а также от конструктивных особенностей конденсатора: площади обкладок, толщины диэлектрика, условий теплоотдачи и т. д.

В реальных конденсаторах электрическая прочность в значительной мере снижается не только из-за дефектов в технических диэлектриках, но и вследствие большой неравномерности электрического поля у краев обкладок и внутри диэлектрика. Пробой диэлектрика обычно приводит к выходу конденсатора из строя и серьезному нарушению работы установки, в которой он используется. Поэтому вопросам электрической прочности конденсаторов уделяется серьезное внимание.

Для оценки электрической прочности применяют пробивное, испытательное и рабочее напряжения.

Пробивное напряжение — это напряжение, при котором происходит пробой конденсатора во время постепенного кратковременного (в течение нескольких секунд) повышения напряжения. Величина пробивного напряжения для одного и того же типа конденсаторов, изготовленных в одних и тех же условиях, обычно колеблется в некоторых пределах. Поэтому для характеристики качества конденсаторов за величину пробивного напряжения принимают среднее арифметическое значение, полученное при пробое нескольких конденсаторов.

Испытательное напряжение — это напряжение, которое конденсатор должен выдерживать без пробоя в течение определенного времени (до 1 мин). Величина испытательного напряжения устанавливается меньше среднего пробивного напряжения, определяемого опытным путем. Испытательным напряжением проверяют каждый изготовленный конденсатор, что позволяет отбраковать конденсаторы с заведомо низкой электрической прочностью, обусловленной случайными дефектами применяемых материалов и дефектами технологии производства.

Рабочее напряжение (номинальное) — это напряжение, при котором конденсатор может надежно работать длительный промежуток времени. Номинальное напряжение обычно в несколько раз меньше пробивного напряжения и меньше испытательного.

Электрическая прочность конденсаторов в условиях эксплуатации не остается постоянной и с течением времени снижается в результате так называемого процесса старения диэлектрика.

Старение заключается в том, что под воздействием электрического поля в диэлектрике конденсатора возникают физико-химические процессы, постепенно разрушающие диэлектрик и снижающие его электрическую прочность. Ухудшение свойств диэлектрика приводит к тепловому или электрическому пробою.

При эксплуатации конденсатора ухудшение свойств диэлектрика не может быть выяснено кратковременным испытанием его повышенным напряжением. Поэтому кратковременные испытания повышенным напряжением не позволяют уверенно судить о надежной работе конденсаторов в эксплуатации.

Физико-химические процессы старения при переменном напряжении вызываются преимущественно частичными разрядами, а при постоянном напряжении — электрохимическими процессами.

Частичные разряды связаны с наличием в диэлектрике конденсатора воздушных (газовых) включений. Если напряжение на воздушных включениях в диэлектрике оказывается выше их пробивного напряжения, в воздушных включениях возникают разряды, в основе которых лежат процессы ионизации нейтральных молекул. В результате происходит разрушение диэлектрика под воздействием: продуктов ионизации воздуха — озона и окислов азота, которые являются сильными окислителями и разрушают диэлектрик химически; непосредственной бомбардировки электронами и ионами, возникающими при частичных разрядах, и высоких местных температур, обусловленных потерями в местах разрядов

Различают две стадии частичных разрядов: *начальную*, при которой частичные разряды в течение длительного времени не приводят к существенному разрушению диэлектрика, и *критическую*, при которой частичные разряды имеют значительную интенсивность и способны в короткое время разрушить диэлектрик.

Электрохимические процессы связаны с переносом ионов в диэлектрике, образующих ток утечки.

Металлические ионы, разряжаясь у обкладок, создают проводящие мостики, которые прорастают в глубь диэлектрика и приводят к уменьшению его толщины, а следовательно, и к снижению электрической прочности. Неметаллические ионы, разряжаясь у обкладок, могут образовывать химически активные вещества, разрушающие диэлектрик и снижающие его электрическую прочность. Указанные электрохимические процессы особенно резко проявляются при повышенных температурах.

При постоянном напряжении наряду с электрохимическими процессами старения диэлектрика могут возникать и частичные разряды, особенно в случае повышенной напряженности электрического поля.

§ 10. Удельные и тепловые характеристики

Под удельными характеристиками понимают отношение величины одной из электрических характеристик конденсатора к его объему или массе. Удельными характеристиками являются также и обратные величины, т. е. отношение объема или массы конденсатора к величине одной из его электрических характеристик.

Удельные характеристики дают сравнительное представление об объеме, массе и стоимости, т. е. оценивают качество конденсаторов. Поэтому наряду с электрическими удельные характеристики позволяют судить о целесообразности применения конденсаторов в той или иной области техники.

Удельной характеристикой конденсаторов с низким рабочим напряжением постоянного тока является удельная емкость (Ф/м³), представляющая собой отношение емкости конденсатора к его объему $C_{уд}=C/V$, где C — емкость, Ф; V — объем, м³.

Удельной характеристикой конденсаторов с высоким рабочим напряжением постоянного тока является удельная энергия (Дж/м³ и Дж/кг), представляющая собой отношение запасенной в конденсаторе энергии к его объему или массе, $W_{уд}=W/V$ и $W'_{уд}=W/G$, где W — энергия, Дж; V — объем, м³; G — масса, кг.

В силовых конденсаторах удельная энергия достигает $90\cdot10^3$ Дж/м³ и 10 Дж/кг.

Удельной характеристикой конденсаторов переменного тока является удельная реактивная мощность (квар/м³ или квар/кг), представляющая собой отношение реактивной мощности конденсатора к его объему или массе, $Q_{уд}=Q/V$ или $Q'_{уд}=Q/G$, где Q — реактивная мощность, квар; V — объем, м³; G — масса, кг.

Удельная реактивная мощность силовых бумажно-пленочных конденсаторов, применяемых для улучшения коэффициента мощности, достигает $5{,}2$—$5{,}6\times10^3$ квар/м³ и 3,4 квар/кг.

В общем случае удельные характеристики конденсатора зависят от предполагаемого срока службы, условий эксплуатации, качества применяемых материалов, уровня технологии производства и т. д.

Для конденсаторов, работающих на переменном напряжении, характерны потери энергии и связанный с ними нагрев диэлектрика. Поэтому для качественной оценки конденсаторов переменного тока наряду с удельной реактивной мощностью служат тепловые характеристики.

Под тепловыми характеристиками конденсаторов понимают зависимость температуры нагрева диэлектрика от мощности потерь в конденсаторе.

Тепловые характеристики позволяют устанавливать допустимую перегрузку конденсаторов по мощности при различных температурах окружающей среды и, наоборот, при заданной мощности конденсатора определять допустимую температуру окружающей среды.

Предельная рабочая температура диэлектрика ограничивается его нагревостойкостью, т. е. способностью диэлектрика выдерживать повышенную температуру без существенного уменьшения эксплуатационной надежности конденсатора. В связи с этим возможность повышения мощности конденсатора или температуры окружающей среды зависит от величины допустимого перегрева диэлектрика конденсатора.

Под перегревом понимают разность между наивысшей температурой диэлектрика конденсатора и температурой охлаждающего воздуха. Чем меньше этот перегрев, тем большая мощность может быть в конденсаторе или более высокая температура окружающей среды. Поэтому для улучшения тепловых характеристик при конструировании конденсаторов переменного тока уделяют особое внимание эффективному отводу тепла как увеличением охлаждающей поверхности, так и устройством искусственного охлаждения.

Улучшение тепловых характеристик может быть достигнуто также применением диэлектриков с уменьшенными потерями и повышением уровня технологии производства конденсаторов.

Контрольные вопросы

1. Какое устройство называют электрическим конденсатором?
2. Что такое электрическое поле?
3. Что такое емкость конденсатора?
4. Как определяют емкость конденсатора при параллельном, последовательном и смешанном соединении секций?
5. Назовите основные виды поляризации диэлектрика.
6. Как определяют относительную и абсолютную диэлектрическую проницаемость?
7. Что такое сопротивление изоляции конденсатора и как его находят?
8. Как определяют реактивное сопротивление и мощность конденсатора?
9. Укажите условия резонанса токов и напряжений.
10. Что такое коэффициент мощности ($\cos \varphi$)?
11. Что характеризует тангенс угла потерь конденсатора?
12. Что такое электрическая прочность конденсатора и как ее оценивают?
13. В чем заключается старение диэлектрика конденсатора?
14. Что понимают под удельными характеристиками конденсаторов?

Глава II. МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СИЛОВОМ КОНДЕНСАТОРОСТРОЕНИИ

§ 11. Общие сведения об электротехнических материалах

Применяемые в электротехнике материалы, из которых изготовляют активные части электрических машин, аппаратов и других электротехнических устройств, называются *электротехническими* и обладают свойствами, отличными от свойств обычных материалов. Все электротехнические материалы можно разделить на четыре группы.

К *первой* группе относятся проводниковые материалы (проводники), обладающие высокой электропроводностью. Проводниковые материалы служат для изготовления токоведущих частей электротехнических машин, аппаратов и устройств.

Ко *второй*, более обширной, группе относятся непроводниковые или электроизоляционные материалы (диэлектрики), обладающие свойствами, противоположными свойствам проводников. Эти материалы применяют для изоляции токоведущих частей установок друг от друга или заземленных элементов.

К *третьей* группе относятся полупроводниковые материалы (полупроводники), по своей электропроводности занимающие промежуточное место между проводниками и диэлектриками. Ввиду особых свойств эти материалы служат для изготовления выпрямителей, усилителей, фотоэлементов и т. д.

К *четвертой* группе относятся магнитные материалы (железо, никель, кобальт и их сплавы). Магнитные материалы применяют для создания магнитопроводов (путей с малым магнитным сопротивлением) в электрических машинах, аппаратах и приборах.

Электротехнические материалы указанных групп обладают большим разнообразием электрических и физико-химических свойств. Знание этих свойств и правильный выбор материалов позволяют создавать современные экономичные и надежные в работе конструкции электрических машин, аппаратов и приборов.

В силовом конденсаторостроении используют электротехнические материалы только первых двух групп — проводниковые и электроизоляционные.

§ 12. Проводниковые материалы

К группе проводниковых материалов относятся все металлы и их сплавы, которые обладают электронной проводимостью и могут быть подразделены на материалы высокой проводимости и материалы высокого сопротивления.

Основными характеристиками проводниковых материалов являются: удельное сопротивление, температурный коэффициент сопротивления, теплопроводность, температура плавления, механическая прочность, плотность и др. Физические свойства некоторых проводниковых материалов приведены в табл. 1.

Из указанных в таблице проводниковых материалов в силовом конденсаторостроении применяют главным образом алюминий, медь, латунь и железо.

Таблица 1. Основные физические свойства некоторых проводниковых материалов

Металл или сплав	Плотность, кг/м³·10³	Температура плавления, °С	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Удельное сопротивление, Ом·м·10^{-6}	Температурный коэффициент сопротивления, K^{-1}
Металлы					
Медь	8,9	1083	93	0,0172	0,0043
Алюминий	2,7	657	202	0,0280	0,0042
Железо	7,8	1535	63	0,0980	0,0060
Серебро	10,5	961	111	0,0160	0,0040
Олово	7,3	232	66	0,1200	0,0044
Свинец	11,4	327	35	0,2100	0,0037
Цинк	7,1	420	111	0,0590	0,0040
Никель	8,8	1455	67	0,0730	0,0065
Ртуть	13,6	—39	8	0,9580	0,0009
Сплавы					
Латунь	8,5	900	105	0,071	0,0017
Бронза	8,8	900	204	0,052	0,0015
Нихром	—	1375	17	1,0—1,2	0,0001—0,0004
Константан	8,9	1270	—	0,48—0,52	0,000005

Алюминий — легкий металл, обладает небольшим удельным сопротивлением, высокой теплопроводностью, хорошо обрабатывается и относительно дешев. На воздухе алюминий очень быстро покрывается тонкой пленкой окисла, которая надежно защищает металл от дальнейшей коррозии. Недостатком алюминия является сравнительно низкая прочность при разрыве и трудность пайки.

В силовом конденсаторостроении алюминий в виде тонкой фольги (ГОСТ 618—73) применяют в качестве обкладок конденсаторов. Используется главным образом фольга толщиной 0,005—0,007 и 0,016 мм и шириной от 95 до 270 мм, поставляемая в виде рулонов.

Медь является главным проводниковым материалом вследствие высокой электропроводности, теплопроводности, пластичности и стойкости к атмосферной коррозии.

По электропроводности медь занимает второе место после серебра. Медь высокой степени чистоты получают электролитическим способом.

В конденсаторном производстве тонкая медная проволока служит для изготовления секционных предохранителей. Из медной фольги выполняют токоподводы секций. Рулонную ленту используют для изготовления соединительных шин при сборке схемы пакетов конденсаторов. Из круглой меди различных сечений выполняют выводы конденсаторов и т. д.

Медь — очень ценный проводниковый материал, поэтому ее необходимо расходовать экономно и, если возможно, заменять менее дефицитными материалами. Отходы меди следует тщательно собирать, не смешивая с другими материалами, переплавлять и повторно использовать в электротехнических устройствах.

Латунь — сплав меди с цинком. Наибольшее содержание цинка в латуни может доходить до 45%. По сравнению с медью латунь обладает меньшей электропроводностью, однако благодаря высокой пластичности имеет технологические преимущества при обработке штамповкой, глубокой вытяжкой и т. д.

В силовом конденсаторостроении применяют латуни двух марок: ЛС59-1 — для изготовления выводов изоляторов и крепежных деталей и Л63 — для выполнения корпусов конденсаторов повышенной частоты, используемых в электротермических установках. Латунь для корпусов применяют как немагнитный материал, чтобы уменьшить потери от вихревых токов, которые при повышенных частотах оказывают заметное влияние на нагрев конденсаторов в стальных корпусах.

Железо (и его сплавы) относится к магнитным материалам. В технике применяют главным образом сталь, представляющую собой сплав железа с углеродом.

Применение железа и стали в электротехнике несколько ограничивается их низкой коррозионной стойкостью (они легко окисляются на воздухе — ржавеют) и повышенным удельным электрическим сопротивлением по сравнению с медью и алюминием.

В производстве конденсаторов применяют углеродистые стали. Для изготовления щек, хомутов и корпусов конденсаторов чаще всего используют тонколистовую (1—2 мм) сталь 08кп (ГОСТ 16523—70). Толстолистовая сталь (14—16 мм) служит для производства крышек кон-

денсаторов связи. Прутковая сталь используется для изготовления крепежа.

Наряду с указанными проводниковыми материалами, применяемыми в качестве основных, в конденсаторном производстве используют и такие материалы, как цинк, никель и олово, которые применяют для гальванического покрытия различного рода деталей конденсаторов, чтобы предохранить их от коррозии.

§ 13. Электроизоляционные материалы

Электроизоляционные материалы, или диэлектрики, применяемые в конденсаторостроении, выполняют две основные функции: обеспечивают изоляцию токоведущих частей друг от друга и от корпуса и создают емкость конденсатора.

Электроизоляционные материалы разделяют на твердые, жидкие и газообразные, а по химическому составу — на органические, в состав которых входит углерод, и неорганические, не содержащие углерода. Качество электроизоляционных материалов характеризуется электрическими свойствами: электрической прочностью, электропроводностью, диэлектрической проницаемостью и диэлектрическими потерями. Кроме того, в практике для применения электроизоляционных материалов важное значение имеют и их общие физико-химические свойства: механическая прочность, нагревостойкость, влагопоглощаемость, химическая стойкость и др.

Твердые электроизоляционные материалы. В силовом конденсаторостроении применяют следующие электроизоляционные материалы: конденсаторную и кабельную бумагу, электроизоляционный картон, гетинакс, текстолит, установочную керамику (электрофарфор, стеатит и др.), синтетические пленки (полистирол, полипропилен, лавсан и др.).

К о н д е н с а т о р н а я б у м а г а — это основной вид твердого органического диэлектрика при производстве силовых конденсаторов. Сырьем для изготовления конденсаторной бумаги служит сульфатная целлюлоза, или клетчатка, получаемая из древесины химической обработкой ее в щелочной среде.

Клетчатка относится к классу углеводов и является природным высокомолекулярным веществом, состав которого выражается формулой $C_6H_{10}O_5$. Полимерные молекулы клетчатки представляют собой длинные цепочки, состоящие из простых молекул. Эти цепочки образуют волокна клетчатки. Для получения бумаги или картона волокна клетчатки подвергают размолу в воде. Затем бумажная масса поступает в бумагоделательные машины, на сетке которых она формуется в бумажное полотно. После сушки и каландрирования (уплотнения) бумагу разрезают и сматывают в бобины.

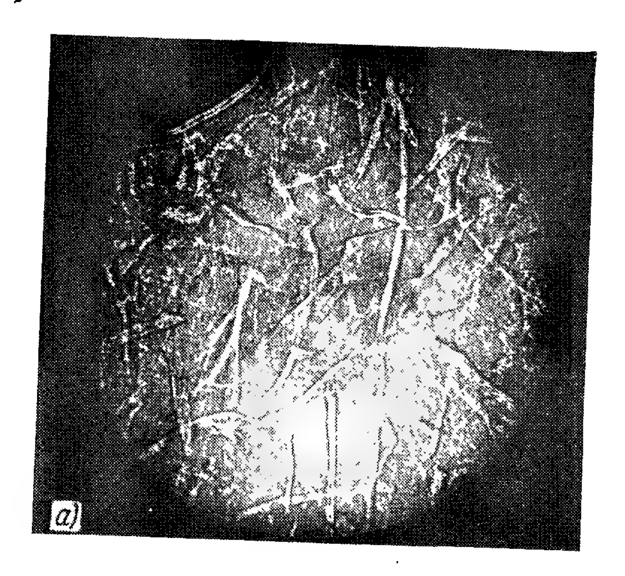
Конденсаторная бумага отличается малой толщиной (от 4 до 30 мкм), высокой плотностью и небольшим содержанием неорганических примесей.

При изготовлении силовых конденсаторов в настоящее время преимущественно используют бумагу толщиной 10—15 мкм. Конденсаторную бумагу выпускают трех видов: обычную КОН (конденсаторную) и с улучшенными диэлектрическими свойствами, МКОН (малопотерьную конденсаторную) по ГОСТ 1908—77 и специальную оксидную АНКОН (с активным наполнителем, конденсаторную с содержанием до 5% окиси алюминия, выпускаемую по ТУ). Окись алюминия, являясь хорошим адсорбентом, поглощает содержащиеся в пропитывающей жидкости конденсаторов ионы загрязнений, в результате чего снижается тангенс угла потерь конденсаторов. Это особенно важно при пропитке конденсаторов хлорированными дифенилами.

Бумагу изготовляют плотностью $0{,}8 \cdot 10^3$; $1 \cdot 10^3$ и $1{,}2 \cdot 10^3$ кг/м^3. Микрофотографии бумаги приведены на рис. 10.

Волокнистое строение бумаги обусловливает ее большую пористость. Объем пор в воздушно-сухой конденсаторной бумаге в зависимости от плотности составляет 15—45%. Пористостью и полярностью клетчатки объясняется высокая влагопоглощаемость бумаги. Конденсаторная бумага обычно содержит 7—10% воды по массе. В зависимости от плотности и толщины воздухопроницаемость этой бумаги 2—7 см^3/мин. Разрывная длина в продольном направлении составляет не менее 8000 м. Зольность абсолютно сухой бумаги не превышает 0,4%.

При нормальной температуре конденсаторная бумага является химически устойчивым материалом. Однако при нагревании в ней начинаются химические процессы, приводящие к ее разрушению. При температуре 120—130° С бумага заметно окисляется и механическая прочность ее



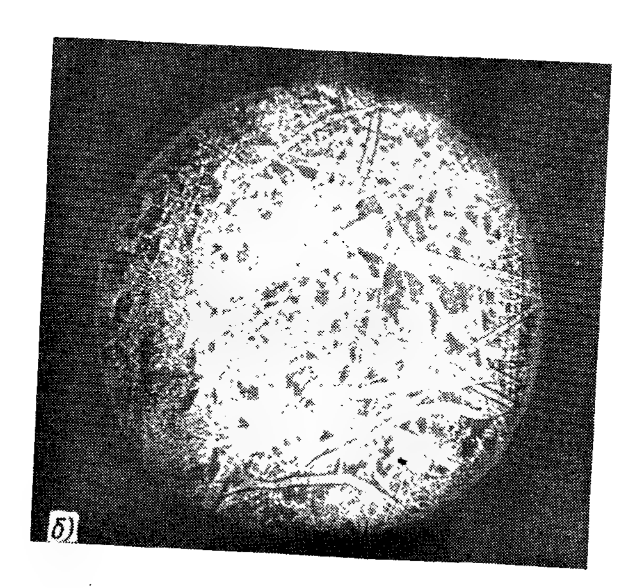


Рис. 10. Микрофотографии конденсаторной бумаги:
а — КОН-1, *б* — КОН-2

снижается, а при температуре выше 150—160° С быстро разрушается вследствие обугливания клетчатки. В вакууме (при отсутствии кислорода и влаги) процесс разложения бумаги значительно замедляется. Электрическая прочность бумаги при переменном токе 30—60 В/мкм и возрастает с увеличением плотности и уменьшением толщины.

Тангенс угла потерь лучших конденсаторных бумаг при температуре 120° С в сухом виде 0,12—0,22%, в пропитанном (трихлордифенилом) 0,23—0,34%. Повышенные значения тангенса угла потерь относятся к более плотным бумагам и обусловлены большим содержанием в них клетчатки, которая имеет тангенс угла потерь 0,6—0,7%. Поэтому более плотная бумага применяется, как правило, для конденсаторов постоянного тока, а менее плотная — для конденсаторов переменного тока.

Диэлектрическая проницаемость бумаги находится в пределах 2,2—2,9 и возрастает с увеличением плотности бумаги. Диэлектрическая проницаемость клетчатки 6,5. Бумага, служащая диэлектриком между обкладками, при изготовлении конденсаторов подвергается вакуумной сушке и пропитке для улучшения ее диэлектрических характеристик.

Кабельная бумага (ГОСТ 645—79Е) является основным изоляционным материалом при производстве кабелей. При производстве силовых конденсаторов эта бумага используется главным образом для изоляции пакета конденсаторов от корпуса, а также секций или групп секций друг от друга.

Кабельная бумага, так же как и конденсаторная, изготовляется из сульфатной целлюлозы, но в отличие от конденсаторной имеет большую толщину. В конденсаторах бумага используется четырех марок: КВ-080, КВ-120, КВ-170 и КВ-240 (К — кабельная, В — высоковольтная, цифры обозначают толщину бумаги в микронах). Плотность бумаги этих марок $(0{,}8—0{,}9) \cdot 10^3$ кг/м^3, зольность 0,3%, разрывное усилие в продольном направлении 88—216 Н (9—22 кгс), воздухопроницаемость не более 25 см^3/мин. Электрическая прочность сухой непропитанной бумаги 8—10 В/мкм.

В настоящее время наряду с обычной кабельной бумагой при изготовлении конденсаторов с пропиткой трихлордифенилом применяют оксидную бумагу марок ЭИО-120 и ЭИОУ-120 (ГОСТ 21215—75).

Электроизоляционный картон (ГОСТ 4194—78) изготовляется тем же способом, что и бумага, и имеет толщину 0,5—3 мм. Картон толщиной 0,5 мм, как и бумага, вырабатывается в рулонах, а при большей толщине — в листах стандартных размеров.

Электроизоляционный картон изготовляют четырех марок: А, Б, В и Г. Плотность этих картонов (0,9—1,25)·10^3 кг/м^3, а электрическая прочность в зависимости от толщины 8—13 В/мкм. В производстве силовых конденсаторов применяют картон только марки Г, содержащий 100% сульфатной целлюлозы; его, как и кабельную бумагу, используют для корпусной и межсекционной изоляции.

Гетинакс (ГОСТ 2718—74) — листовой слоистый прессованный материал, изготовляемый из бакелизированной бумаги. Для производства гетинакса применяют сульфатную пропиточную бумагу толщиной 0,12 мм. Бумагу пропитывают бакелитовыми лаками, представляющими собой коллоидные растворы феноло- или крезолоформальдегидных смол.

Листы пропитанной бумаги сушат, собирают в пакеты определенной толщины и прессуют при температуре 160—165° С и давлении 9,8—11,8 МПа (100—120 кгс/см^2). При горячем прессовании расплавленная смола склеивает листы бумаги и переходит в неплавкое и нерастворимое состояние. Гетинакс изготовляют в виде листов и досок толщиной от 0,2 до 50 мм и применяют для работы в пределах рабочих температур от —65 до +105° С. В производстве силовых конденсаторов гетинакс используют для изготовления стяжных планок и щек высоковольтных конденсаторов.

Кроме гетинакса в конденсаторном производстве широко применяют слоистые намотанные изделия в виде цилиндров для изоляционных корпусов импульсных конденсаторов; цилиндры изготовляют намоткой на нагретую стальную оправку рулонной бумаги, покрытой с одной стороны бакелитовым лаком, и называют гетинаксовыми или бакелитовыми. Эти цилиндры выпускают диаметром от 10 до 800 мм, а в отдельных случаях и больше с толщиной стенок от 1,5 до 30 мм. Поскольку давление при намотке цилиндров меньше давления, которое применяется при изготовлении гетинаксовых досок, цилиндры получаются менее плотными, чем доски, и по своим свойствам уступают им.

Текстолит (ГОСТ 2910—74) отличается от гетинакса только тем, что в нем вместо пропиточной бумаги применена хлопчатобумажная ткань, обладает более высокими механическими свойствами, но дороже, чем гетинакс, и применяется в тех случаях, когда деталь может подвергаться ударам или истиранию.

Установочными электрокерамическими материалами являются электрофарфор, радиофарфор, ультрафарфор, стеатит и др. Исходными материалами при изготовлении керамических изделий служат кварц, полевой шпат, каолины и глины. Электрокерамические материалы не гигроскопичны, стойки к атмосферным воздействиям, обладают хорошими диэлектрическими и механическими свойствами. Недостатком этих материалов является большая усадка изделий при изготовлении, что создает трудности в обеспечении точных размеров. Для повышения механической прочности и стойкости к влаге и атмосферным загрязнениям фарфоровые изделия перед обжигом покрывают глазурью. Электрофарфор используют для изготовления проходных изоляторов большинства конденсаторов, а также покрышек (фарфоровых корпусов) и изоляционных подставок для конденсаторов связи.

Полистирол относится к числу синтетических термопластичных высокомолекулярных (полимерных) смол и в производстве конденсаторов применяется в качестве диэлектрика в виде пленок толщиной 20—30 мкм. Электрическая прочность пленок весьма велика: 200—300 В/мкм при постоянном токе и 150—180 В/мкм при частоте 50 Гц. Диэлектрическая проницаемость их 2,58, удельное объемное сопротивление 10^{14}—10^{15} Ом·м, тангенс угла потерь 0,02—0,03%. Благодаря незначительным потерям полистирольные пленки широко применяют в изготовлении конденсаторов, работающих главным образом при повышенных и высоких частотах. Однако использование пленок ограничено их низкой нагревостойкостью (70—80° С).

Полипропилен является продуктом полимеризации пропилена $CH_3 — CH = CH_2$, который получают при переработке нефти и природного газа, представляющих собой доступное и дешевое сырье, и применяют в силовых конденсаторах в качестве диэлектрика в виде пленок толщиной 8—20 мкм. При этом используется изотактический полипропилен, обладающий определенной структу-

рой с правильным расположением звеньев цепи молекулы. Электрическая прочность пленок при частоте 50 Гц составляет 300—350 В/мкм, диэлектрическая проницаемость 2,25, удельное объемное сопротивление 10^{15} Ом·м, тангенс угла потерь 0,02—0,04% и температура размягчения 160—170° С. Благодаря повышенной термостойкости и совместимости с пропитывающими жидкостями пленки изотактического полипропилена находят широкое применение как в чистом виде, так и в комбинации с конденсаторной бумагой.

Лавсан (полиэтилентерефталат) — прозрачный высокополимерный диэлектрик, относящийся к классу полиэфиров и получаемый в результате поликонденсации этиленгликоля и терефталевой кислоты. Лавсановые пленки толщиной 10—20 мкм обладают высокой электрической прочностью (до 400 В/мкм), повышенной нагревостойкостью по сравнению с конденсаторной бумагой, высоким удельным объемным сопротивлением и являются полярным диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε=3,3. Поскольку тангенс угла потерь этих пленок резко увеличивается с ростом температуры и частоты, они находят применение главным образом в конденсаторах постоянного тока.

Кроме лавсановых разработано много полярных и неполярных синтетических пленок (полиамидные, поликарбонатные, фторопластовые, полиэтиленовые и др.), однако в силовом конденсаторостроении они не находят широкого применения из-за низкой нагревостойкости, высоких диэлектрических потерь и др.

Жидкие электроизоляционные материалы. В качестве жидких электроизоляционных материалов в производстве конденсаторов применяют нефтяное конденсаторное масло, хлорированные дифенилы (трихлордифенил и др.), касторовое масло и др. Жидкие диэлектрики служат для пропитки бумажной и бумажно-пленочной изоляции конденсаторов с целью повышения ее диэлектрической проницаемости и электрической прочности. Характеристики основных пропитывающих жидкостей приведены в табл. 2.

Конденсаторное масло является неполярным диэлектриком и представляет собой продукт перегонки нефти (фракция, отгоняемая при 400—450° С), состоящий из смеси различных углеводородов — соединений углерода и водорода. Полученное при перегонке масло подвергается обработке кислотой и щелочью с последующей

Таблица 2. Основные характеристики пропитывающих жидкостей

Характеристика	Конденсаторное масло	Трихлордифенил	Конденсаторная жидкость КЖ-50	Касторовое масло
Плотность при 20° С, кг/м³·10^3	0,84—0,89	1,4	1,29	0,95—0,97
Температурный коэффициент объемного расширения, $К^{-1}$	0,00065	0,00060	0,00060	0,00062
Кинематическая вязкость, м²/с·10^{-6}, при температуре, °С:				
20	37—45	70	1,8	600
100	2,2—3,5	2,5	1,0	18
Кислотное число, мг КОН на 1 г	0,02	0,01	0,007	0,3
Температура застывания, °С, не выше	—45	—18	—50	—17
Температура вспышки, °С, не ниже	+135	+150	+147	+280
Удельное объемное электросопротивление, Ом·м, при температуре, °С:				
20	10^{12}—10^{14}	10^{12}	10^{12}—10^{13}	10^{10}—10^{11}
100	10^{11}	10^{10}	10^{11}	$2 \cdot 10^{8}$
Электрическая прочность при частоте 50 Гц и 20° С, В/мкм	20—25	20	20	20
Диэлектрическая проницаемость при 20° С	2,1—2,3	5,5	5,8	4,2—4,7
Тангенс угла диэлектрических потерь при 100° С	0,005	0,02	0,015	0,02—0,06

промывкой дистиллированной водой для удаления химически нестойких соединений. В дальнейшем высокие электроизоляционные свойства масла достигаются его сушкой, дополнительной очисткой глинами и фильтрацией.

Электрические свойства конденсаторного масла значительно снижаются при загрязнении и увлажнении, кроме того, масло подвержено старению — окислению кислородом воздуха. С повышением температуры старе-

ние происходит быстрее. При старении в масле образуются смолообразные примеси, ухудшающие его физические и электрические свойства. Однако основным недостатком конденсаторного масла являются сравнительно низкие диэлектрическая проницаемость и газостойкость. При возникновении в диэлектрике конденсатора частичных разрядов под действием переменного электрического поля масло легко разлагается, выделяя газообразные продукты, что приводит к разрушению изоляции и быстрому выходу конденсатора из строя.

В настоящее время применяются газостойкие конденсаторные масла, отличающиеся повышенным содержанием ароматических углеводородов.

Хлорированные дифенилы — полярные синтетические диэлектрики, являющиеся продуктами различной степени хлорирования дифенила $C_{12}H_{10}$. Дифенил получают из бензола, являющегося одним из продуктов переработки каменноугольной смолы. Наибольшее распространение получил трихлордифенил (ТХД) $C_{12}H_7Cl$ — продукт хлорирования дифенила, в котором три атома водорода замещены хлором. ТХД — негорючая взрывобезопасная прозрачная жидкость, более устойчивая к окислению и действию переменного электрического поля, чем конденсаторное масло. Вязкость ТХД при нормальной температуре сравнительно велика, но при температуре 50° С вязкости конденсаторного масла и ТХД сближаются. Благодаря повышенной диэлектрической проницаемости ТХД при пропитке бумажных конденсаторов увеличивает их емкость в 1,4—1,5 раза по сравнению с конденсаторным маслом.

Трихлордифенил имеет относительно высокую температуру отверждения (—30° С), ниже которой его диэлектрическая проницаемость резко уменьшается, что снижает емкость конденсаторов на 20—30%. Кроме того, при низких температурах уменьшается электрическая прочность конденсаторов. Поэтому конденсаторы, пропитанные ТХД, можно применять при температуре не ниже —35—40° С.

Трихлордифенил очень чувствителен к загрязнениям, вызывающим резкое увеличение тангенса угла потерь и снижение электрической прочности конденсаторов, поэтому требует соблюдения особой чистоты при производстве конденсаторов. Большим недостатком ТХД является и его токсичность. Пары ТХД раздражающе действуют

на кожу и слизистые оболочки, вследствие чего при работе с ним необходимо соблюдать специальные правила техники безопасности.

При постоянном напряжении ТХД склонен к разложению, поэтому в чистом виде он не применяется для пропитки конденсаторов постоянного тока. Этот недостаток устраняют введением стабилизатора, в качестве которого используют антрохинон. Стабилизирующие добавки вводят в ТХД для повышения его стойкости к действию и переменного электрического поля. Наиболее эффективными присадками в этом случае являются эпоксидные соединения.

Для конденсаторов, применяемых в северных районах, используют ряд пропитывающих жидкостей, представляющих собой смеси хлорированных дифенилов с различными разбавителями: трихлорбензол, трихлорэтилбензол, хлордифенилоксид и другие жидкости, имеющие низкую температуру застывания, высокую электрическую прочность и стойкость против старения в электрическом поле. Например, жидкость под условным названием КЖ-50 (конденсаторная жидкость), представляющая собой смесь хлордифенилов с хлордифенолоксидом, имеет температуру застывания —50° С.

Благодаря высокой устойчивости к частичным разрядам и более благоприятному распределению напряженности электрического поля в диэлектрике при пропитке конденсаторов хлорированными дифенилами можно допускать значительно бо́льшую напряженность в диэлектрике, чем при пропитке конденсаторным маслом. Поскольку хлорированные дифенилы позволяют использовать конденсаторы в более широком диапазоне рабочих температур, ими заменяют конденсаторное масло. Удельные характеристики конденсаторов улучшаются в 2—3 раза.

Касторовое масло — полярная жидкость, получаемая выжиманием или экстракцией из семян клещевины, культивируемой на юге страны; не горит, имеет более высокую диэлектрическую проницаемость по сравнению с конденсаторным маслом и ввиду высокой вязкости трудно поддается очистке. При вакууме и температуре выше 120° С касторовое масло разрушается с выделением воды; растворяется в спирте и в конденсаторном масле и не растворяется в бензине. Касторовое масло используют для пропитки конденсаторов постоянного тока и

импульсных при небольшой частоте следования импульсов. При переменном напряжении масло не применяют из-за увеличенного тангенса угла диэлектрических потерь.

§ 14. Припои и флюсы

Припои — специальные сплавы, с помощью которых пайкой соединяют металлические части. Пайка производится для создания механически прочного (часто герметичного) шва или для получения электрического контакта с малым переходным сопротивлением.

При пайке место соединения и припой нагревают, причем припой плавится, а основной материал остается твердым. Припой, растекаясь по металлу, смачивает его и заполняет зазоры между соединяемыми деталями. Происходит взаимное растворение припоя и металла, в результате чего образуется промежуточная прослойка, которая после застывания соединяет детали в одно целое.

В зависимости от температуры плавления припои делят на **мягкие** и **твердые**. К мягким относят припои с температурой плавления не выше 500° С, а к твердым — с температурой плавления выше 500° С. Мягкие припои обычно обладают меньшей механической прочностью на разрыв, чем твердые, и к ним относятся: оловянно-сурьмяно-свинцовые, оловянно-кадмиево-свинцовые, оловянно-кадмиево-цинковые и оловянно-висмуто-свинцовые. Имеются также мягкие припои с добавками серебра. Твердыми припоями являются сплавы меди и цинка, меди, серебра и цинка, меди и фосфора и др.

Химический состав, основные свойства и назначение припоев, используемых в производстве конденсаторов, приведены в табл. 3.

Необходимым условием для создания хорошего соединения при пайке является чистота поверхностей соединяемых деталей, что достигается при помощи веществ, получивших название **флюсов**. Назначение флюсов состоит в том, чтобы растворять и удалять окислы и загрязнения с поверхностей спаиваемых металлов; защищать в процессе пайки поверхность металла и расплавленный припой от окисления; уменьшать поверхностное натяжение расплавленного припоя; улучшать растекание припоя и смачивание им соединяемых поверхностей.

По действию, которое флюсы оказывают на спаивание металла, они делятся на пять групп:

Таблица 3. Основные свойства и состав припоев

Марка	Состав, %	Температура плавления, °С	Температура пайки, °С	Временное сопротивление разрыву, $Н/м^2 \cdot 10^6$	Область применения
ПОССу30-2	Олово 30 Сурьма 1,5—2,0 Свинец — остальное	250	320	39	Пайка деталей из меди, железа и стали. Лужение
ПОССу40-2	Олово 40 Сурьма 1,5—2,0 Свинец — остальное	229	290	42	Пайка шин и перемычек, деталей из стали или латуни, изоляторов к корпусу
ПОССу61-0,5	Олово 61 Сурьма 0,2—0,5 Свинец — остальное	189	240	44	Пайка герметичных швов, контактных стержней и колец изоляторов, а также трубок водяного охлаждения
ПСр-2	Олово 30 Серебро 2 Кадмий 5 Свинец — остальное	225	—	—	Лужение серебра, нанесенного на керамику методом вжигания
ПОЦ-65	Олово 65 Цинк 35	419	—	—	Лужение алюминиевой фольги пакетов
ПСр-25	Медь 40 Серебро 25 Цинк 35	765	—	270	Пайка нержавеющей стали, латуни и меди

активные, или кислотные, приготовляемые на основе активных веществ, — соляной кислоты, хлористых и фтористых металлов и т. д.; при пайке эти флюсы интенсивно растворяют пленки окислов и обеспечивают высокую механическую прочность соединения (после пайки места соединений необходимо тщательно промывать, так как остатки флюса вызывают интенсивную коррозию соединения и основного металла);

бескислотные, к которым относят канифоль и ее растворы в спирте, глицерине и минеральном масле (канифоль очищает поверхность металлов от окислов, защищает ее от окисления и улучшает растекание припоя);

активированные, которые приготовляют на основе канифоли с добавлением активаторов — небольших количеств солянокислого или фосфорнокислого анилина, салициловой кислоты и др. (благодаря им пайку производят без предварительного удаления окислов);

антикоррозионные, которые приготовляют на основе фосфорной кислоты с добавлением различных органических соединений и растворителей, а также на основе органических кислот (остатки этих флюсов не вызывают коррозии);

защитные, к которым относят воск, вазелин, оливковое масло, сахарную пудру и др. Они не оказывают химического воздействия, но защищают очищенную поверхность от окисления.

Пайку металлических частей можно производить с помощью газовых горелок или паяльных ламп, электрических паяльников, погружением в расплавленный припой и т. д. В настоящее время широкое распространение получила пайка индукционным нагревом соединяемых деталей токами высокой частоты, а также ультразвуковая пайка, при которой ультразвуковые колебания стержня паяльника очищают поверхности от окислов металлов.

Контрольные вопросы

1. На какие группы разделяют электротехнические материалы?
2. Каковы основные свойства проводниковых и электроизоляционных материалов, применяемых в конденсаторах?
3. Укажите преимущества и недостатки синтетических пропитывающих жидкостей по сравнению с конденсаторным маслом.
4. Каковы назначение и основные свойства припоев и флюсов, применяемых в конденсаторостроении?

Глава III. КОНСТРУКЦИИ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИЛОВЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

§ 15. Элементы конструкции и режимы работы силовых конденсаторов

К силовым относят главным образом бумажные и бумажно-пленочные конденсаторы, пропитанные жидкими диэлектриками и предназначенные для непосредственного включения в распределительных сетях и линиях пере-

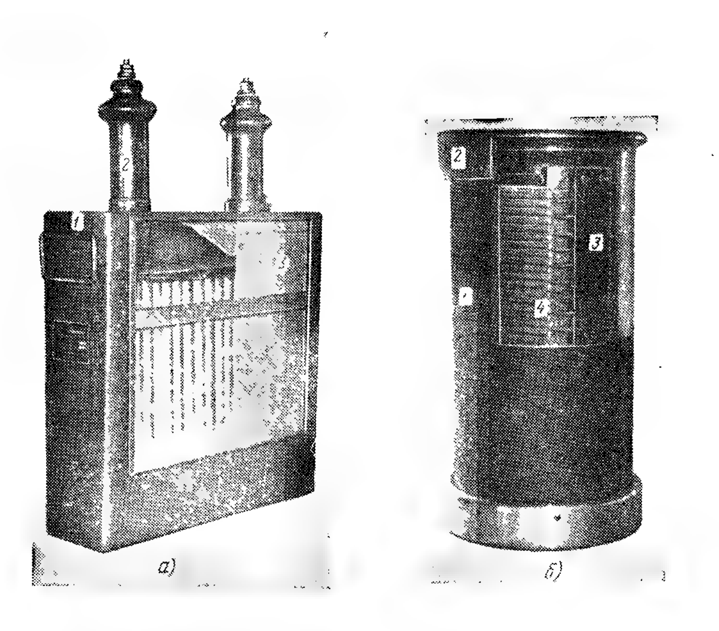


Рис. 11. Устройство силовых конденсаторов:
а — в металлическом корпусе, *б* — в изоляционном корпусе; *1* — корпус, *2* — выводы, *3* — пакет, *4* — секции

дачи низкого и высокого напряжений постоянного и переменного токов, а также для различного рода силовых и испытательных установок.

Основными элементами конструкции, общими для силовых конденсаторов, являются выемная часть, состоящая из одного или нескольких пакетов *3*, корпус *1* конденсатора и выводы *2* (рис. 11).

Пакет собирают из отдельных плоскопрессованных секций *4*, представляющих собой единичные конденсато-

ры одинаковой емкости. При сборке пакета секции прессуют и в запрессованном состоянии закрепляют с помощью стяжных хомутов или изоляционных планок. В зависимости от типа конденсатора секции в пакете соединяют по определенной схеме перепайкой токоподводов. В конденсаторах большой емкости и низкого напряжения секции соединяют параллельно, а в конденсаторах высокого напряжения — последовательно.

Для обеспечения большой емкости и высокого рабочего напряжения конденсатора применяют параллельно-последовательное соединение секций в пакете. Если выемная часть конденсатора состоит из нескольких пакетов, их соединяют друг с другом, как и секции в пакете, одним из указанных выше способов. Секции, из которых собирается пакет, наматываются на специальных станках и состоят из двух тонких лент алюминиевой фольги (обкладок); между этими лентами проложено необходимое число листов конденсаторной бумаги и пленки. В конденсаторах с параллельным соединением секций секции в пакетах соединяют через плавкие предохранители, служащие для отключения дефектных (пробитых) секций в условиях эксплуатации. Предохранители выполняют из тонких медных луженых проволочек диаметром 0,1—0,35 мм. В зависимости от типа конденсаторов предохранители изготовляют трех видов:

для конденсаторов с рабочим напряжением до 1050 В — в виде прямых проволочек;

для конденсаторов с более высоким напряжением — зигзагообразной формы, так как расчетная длина проволочки велика и она не может быть нормально размещена по месту пайки;

для импульсных конденсаторов, имеющих большие разрядные токи, проволочку предохранителя наматывают на изоляционную оправку, покрывают бакелитовым лаком и запекают. Лак закрепляет проволочку на оправке и предохраняет от разрушения при воздействии динамических усилий, возникающих в момент разряда конденсатора. Иногда во избежание загрязнения пропиточной жидкости продуктами разложения, образующимися при перегорании предохранителей, их помещают в межсекционные прокладки.

Общие требования, предъявляемые к плавким предохранителям, которые устанавливают внутри конденсатора, следующие:

в случае пробоя диэлектрика между обкладками предохранитель должен сгорать мгновенно, отключая пробитую секцию без повреждения конденсатора;

при включении конденсатора на напряжение сети не должно быть повреждения предохранителей вследствие протекания зарядного тока;

при возникновении коротких замыканий в линии предохранители не должны разрушаться под действием разрядного тока;

предохранители не должны разрушаться при длительных перегрузках конденсаторов током, превышающим номинальный в 1,3 раза;

предохранители не должны разрушаться от кратковременных перегрузок током, возникающих при испытаниях повышенным напряжением на заводе-изготовителе.

Выполнение указанных требований обеспечивается выбором проволочки предохранителя соответствующей длины и диаметра. Длина проволочки зависит от величины напряжения, а ее диаметр — от предельных значений тока конденсатора.

Корпуса силовых конденсаторов изготовляют из металла (листового) и из электроизоляционных материалов (бакелизированной бумаги, электрофарфора и пластмасс). Основное назначение корпуса — обеспечить механическую прочность конструкции конденсатора и его герметичность во избежание вытекания пропитывающей жидкости и попадания влаги и воздуха внутрь конденсатора. Кроме того, металлические корпуса обеспечивают отвод тепла при нагреве конденсатора и компенсацию температурного изменения объема пропитывающей жидкости благодаря упругой деформации стенок.

Для подъема конденсаторов при транспортировках и монтаже на их корпусах предусмотрены ручки, скобы или крюки. На торцовой стороне корпуса крепят табличку с техническими данными конденсатора. Для заземления конденсаторов на крышках металлических корпусов обычно приваривают скобу с болтом. Корпуса конденсаторов покрывают краской, стойкой к атмосферным воздействиям.

Пакеты должны быть изолированы от металлического корпуса в зависимости от класса изоляции конденсатора. Если один вывод конденсатора соединен с корпусом, изолируют те части пакета, которые могут находиться относительно корпуса под напряжением.

В конденсаторах с корпусами из изоляционного материала необходимость в изоляции пакета от корпуса отпадает, но такие корпуса имеют плохую теплопроводность стенок, а их жесткость не обеспечивает компенсации температурного изменения объема пропитывающей жидкости. Поэтому часто предусматривают расширители для поддержания избыточного давления внутри конденсатора в заданных пределах. Применение корпусов из изоляционного материала позволяет разрабатывать конструкции конденсаторов с более высоким рабочим напряжением по сравнению с однотипными конденсаторами в металлических корпусах.

Выводы служат для подключения конденсатора к электрической сети. В металлических корпусах выводы соединяют с отводами пакетов и через проходные армированные фарфоровые изоляторы выводят наружу. Изоляторы герметично припаиваются к крышке корпуса и служат для изоляции выводов от корпуса. Конденсаторы в изоляционных цилиндрических корпусах имеют соединенные с отводами пакетов металлические крышки, которые и служат выводами. Поэтому для таких корпусов необходимость в выводных изоляторах отпадает. При необходимости выводы выполняют в виде проходных шпилек, укрепленных на стенках изоляционного корпуса.

Хорошее качество конденсаторов может быть обеспечено только при их надежной герметизации, поскольку проникновение влаги и воздуха из окружающей среды внутрь конденсатора резко ухудшает его электрические характеристики и приводит к выходу из строя.

По характеру режима работы и роду напряжения силовые конденсаторы можно разделить на четыре группы:

конденсаторы, работающие в режиме длительного воздействия напряжения переменного тока промышленной частоты, изоляция которых должна быть рассчитана на тепловой пробой, а конструкция — обеспечивать достаточно хороший отвод тепла во внешнюю среду;

конденсаторы, работающие в режиме длительного воздействия переменного тока повышенной частоты; к их особенностям относятся большие токи и потери мощности, в связи с чем в конструкции предусматривается искусственное охлаждение для отвода тепла;

конденсаторы, работающие при напряжении постоянного тока с наложением переменной составляющей или без нее, изоляция которых не рассчитана на тепловой пробой; однако их конструкция должна обеспечивать надежную работу при более высоких напряженностях электрического поля для заданного срока службы конденсаторов;

конденсаторы, работающие в режиме заряд — разряд. Токи при разряде могут достигать очень больших значений. Поэтому токоведущие части рассчитывают как на силу тока, так и на механическую прочность из-за наличия больших динамических нагрузок. Напряженности электрического поля выбирают высокими. Кроме того, при достаточно большой частоте заряд — разрядов режим работы этих конденсаторов может оказаться тяжелым в тепловом отношении. В таком случае конструкцию рассчитывают на тепловой пробой.

Рабочая температура диэлектрика силовых конденсаторов зависит от вида пропитывающей жидкости и составляет от —60 до +90° С.

§ 16. Конденсаторы для повышения коэффициента мощности. Конденсаторные установки

Основными потребителями электроэнергии на промышленных предприятиях являются такие индуктивные приемники, как асинхронные электродвигатели, трансформаторы, индукционные установки и т. д. Работа этих приемников связана с потреблением реактивной энергии для создания электромагнитных полей. Реактивная энергия не производит полезной работы, а, циркулируя между приемником и источником тока, приводит к дополнительной загрузке линий электропередачи и генераторов и, следовательно, снижает коэффициент мощности сети.

Снижение коэффициента мощности увеличивает потери электроэнергии на нагревание кабелей и проводов сети, а также обмоток электрических машин, ведет к необходимости повышения кажущейся мощности генераторов и трансформаторов на станциях, увеличивает колебания напряжения сети, а также влечет за собой неполное использование мощности первичных двигателей.

Для повышения коэффициента мощности применяют силовые конденсаторы серий КС и КСК, являющиеся наиболее выгодными источниками получения реактивной мощности. Стоимость конденсаторов окупается в первые годы их эксплуатации.

Таблица 4. **Номинальные напряжения и мощности конденсаторов для повышения коэффициента мощности при температуре 40° С**

Серия	Тип	Категория, исполнение	Номинальная мощность, квар, при напряжении, кВ							
			0,23	0,38	0,50	0,66	1,05	3,15	6,30	10,50
II	КС1	У1	6,5	—	—	16,0	—	—	—	—
		У3	6,5	18,0	18,0	20,0	—	—	—	—
	КС2	У1	13,0	—	—	32,0	—	—	—	—
		У3	13,0	36,0	36,0	40,0	—	—	—	—
III	КС1	У1	9,0	20,0	—	20,0	—	30,0	30,0	30,0
		У3	9,0	25,0	—	25,0	—	37,5	37,5	37,5
	КС2	У1	18,0	40,0	—	40,0	—	60,0	60,0	60,0
		У3	18,0	50,0	—	50,0	—	75,0	75,0	75,0
IV	КС1	У1	—	—	—	—	—	37,5	37,5	37,5
		У3	—	—	—	—	—	50,0	50,0	50,0
	КС2	У1	—	—	—	—	—	75,0	75,0	75,0
		У3	—	—	—	—	—	100,0	100,0	100,0
	КС0	У1 / У3	4,0	12,5	—	12,5	—	25,0	25,0	25,0
V	КСК1	У1 / ХЛ1	—	—	—	40	63	75	75	75
	КСК2	У1 / ХЛ1	—	—	—	80	125	150	150	150

Примечание. В маркировке конденсаторов буквы и цифры означают: К — косинусный, С — пропитанный синтетической жидкостью, К — комбинированный (бумажно-пленочный) диэлектрик; 0, 1 и 2 — габарит конденсатора (соответственно нулевой, первый и второй).

В соответствии с ГОСТ 1282—79 конденсаторы для повышения коэффициента мощности электроустановок переменного тока частоты 50 Гц выпускают для длительной эксплуатации в районах с умеренным климатом в наружных и внутренних установках и окружающей температуре 40, 45 и 50° С. Конденсаторы изготовляют в корпусах из листовой стали прямоугольной формы нулевого, первого и второго габаритов. При одинаковом основании 380×120 мм корпуса имеют высоту 185, 325 и 640 мм. Номинальные напряжения и мощности конденсаторов приведены в табл. 4. Для работы при температурах 45 и 50° С, а также в условиях тропического климата мощности конденсаторов снижаются.

Конденсаторы на номинальные напряжения 1,05; 3,15; 6,3 и 10,5 кВ изготовляют в однофазном исполнении, на напряжения 0,66 кВ и ниже — чаще трехфазными, для чего секции в пакете делят на три группы (фазы) и соединяют по схеме треугольника. В конденсаторах на номинальное напряжение 1,05 кВ и ниже все секции соединены параллельно и каждая снабжена встроенным внутри конденсатора плавким предохранителем. В случае пробоя отдельных секций конденсатор продолжает работать при незначительном снижении емкости. В конденсаторах на номинальное напряжение 3,15; 6,3 и 10,5 кВ соединение секций в пакетах смешанное.

Конденсаторы однофазного исполнения изготовляют как с двумя изолированными выводами, так и с выводами, один из которых соединен с корпусом. Для снижения напряжения на выводах конденсатора после его отключения от источника напряжения до безопасного внутрь конденсатора устанавливают разрядные резисторы.

Сопротивление резисторов выбирают исходя из требований техники безопасности. Разрядные резисторы должны снижать (после отключения конденсаторов) амплитудное значение номинального напряжения до 0,05 кВ за время не более 1 мин для конденсаторов 0,66 кВ и ниже и за время не более 5 мин для конденсаторов свыше 0,66 кВ. Общий вид некоторых конденсаторов КС и КСК показан на рис. 12.

Для повышения коэффициента мощности силовых промышленных установок конденсаторы подключают параллельно индуктивным приемникам. При напряжении до 10 кВ конденсаторы выбирают на номинальное напряжение сети. На более высокие напряжения сети батареи

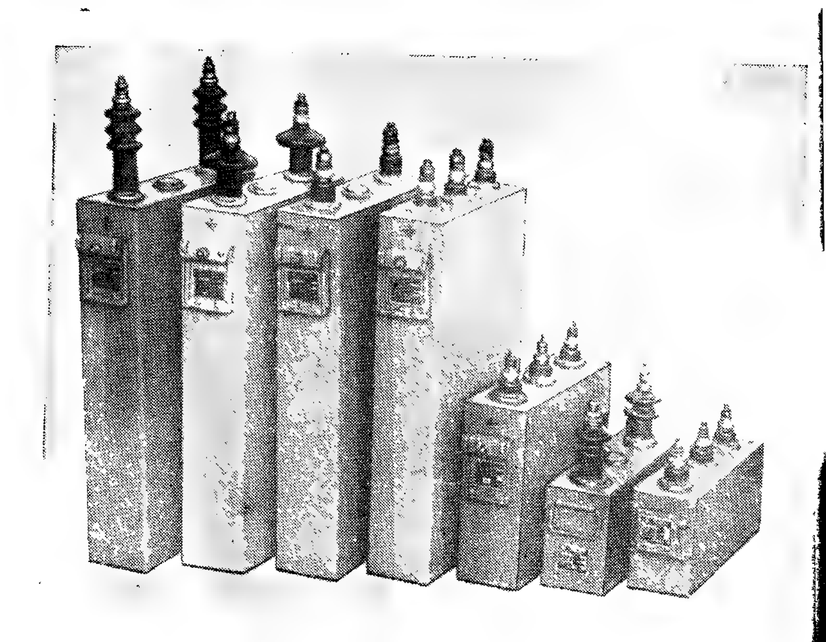


Рис. 12. Конденсаторы КС и КСК

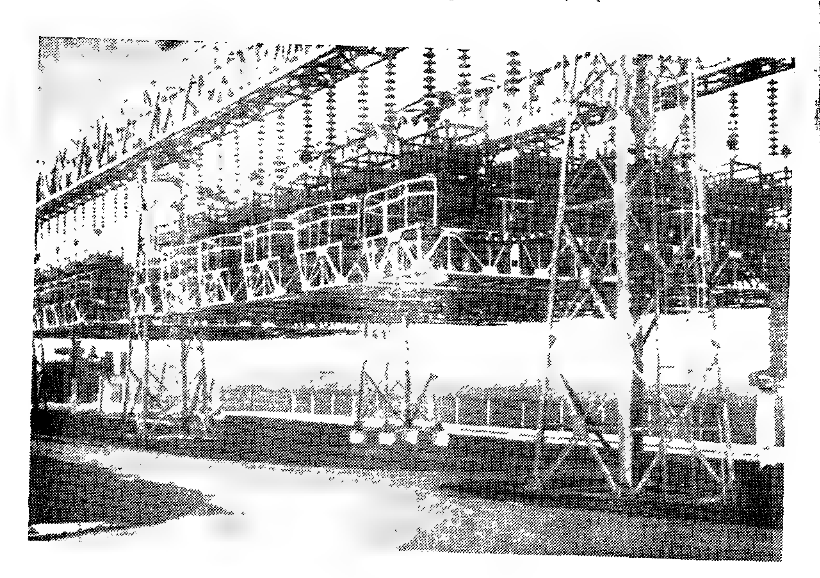


Рис. 13. Конденсаторная батарея на Михайловской преобразовательной подстанции ЛЭП

комплектуют с последовательным или последовательно-параллельным соединением конденсаторов. Мощность отдельных конденсаторных батарей может достигать нескольких сотен тысяч киловольт-ампер реактивных. Комплектацию мощных батарей производят блоками, изготовляемыми непосредственно на конденсаторных заводах. Одна из мощных батарей на напряжение 220 кВ мощностью 220 тыс. квар, сооруженная на Михайловской преобразовательной подстанции ЛЭП 800 кВ постоянного тока Волгоград — Донбасс, показана на рис. 13.

В настоящее время серийно выпускают комплектные конденсаторные установки на номинальное напряжение

Таблица 5. **Основные технические данные некоторых комплектных конденсаторных установок, выпускаемых серийно**

Тип	Напряжение, кВ	Мощность, квар	Количество ступеней регулирования, шт.	Мощность ступени, квар	Масса, кг	Габариты, мм
УК2-0,38-50У3	0,38	50	—	—	72	375×430×650
УК4-0,38-100У3	0,38	100	—	—	140	785×430×650
УКН-0,38-216-108У3	0,38	216	2	108	575	1900×500×1600
УКН-0,38-450-150У3	0,38	450	3	150	1130	2600×500×160
УКБН-0,38-200-50У3	0,38	200	4	50	365	800×440×1685
УКБ-0,38-300У3	0,38	300	—	—	440	580×460×1990
УКБТ-0,38-150У3	0,38	150	1	150	290	630×520×1440
УКТ-0,38-75У3	0,38	75	1	75	175	700×560×1200
УКН-0,38-150-50У3	0,38	150	3	50	335	1200×500×1600
УКН-0,38-300-50У3	0,38	300	6	50	575	1900×500×1600
УКС-6,3-90У1	6,30	90	—	—	130	750×450×1500
УК-6,3-450У3	6,30	450	—	—	670	2140×800×1800
УК-6,3-1125У3	6,30	1125	—	—	1405	4240×800×1800
УК-10,5-900У3	10,50	900	—	—	1160	3540×800×1800
УК-6,3-400У1	6,30	400	—	—	770	2160×820×2060
УК-10,5-600У1	10,50	600	—	—	1100	2860×820×2060

Примечание. В маркировке установок буквы и цифры означают: УК — установка конденсаторная, 2, 4 после УК — количество конденсаторов, которые могут быть включены самостоятельно; буквы (после УК): Б — бесшкафная конструкция, Н — регулирование по напряжению, Т — регулирование по току, С — столбовые; первое число после букв — напряжение установки в киловольтах; второе — мощность установки в кварах; третье — мощность ступени регулирования в кварах; буква У — исполнение (для умеренного климата), последняя цифра — категорию (1 — для наружного размещения, 3 — для внутреннего размещения).

0,38—10,5 кВ мощностью до 1200 квар для внутренней и наружной установок. Основные технические данные конденсаторных установок приведены в табл. 5.

Конденсаторные установки представляют собой металлические шкафы, в которых смонтированы серийно выпускаемые конденсаторы с аппаратурой коммутации, защиты и автоматического регулирования реактивной мощности.

При использовании комплектных установок исключается необходимость монтажа батарей конденсаторов на месте их установки, ускоряется ввод конденсаторов в эксплуатацию и повышается надежность их работы. Одновременно улучшаются условия обслуживания конденсаторов. Ввиду экономической эффективности выпуск комплектных конденсаторных установок непрерывно возрастает.

§ 17. Конденсаторы для продольной компенсации реактивного сопротивления линий электропередачи

Любая линия электропередачи обладает индуктивностью. Индуктивность линии повышается с увеличением ее длины. Поэтому при передаче электроэнергии на большие расстояния линия передачи имеет значительное реактивное сопротивление, обусловленное ее индуктивностью.

При протекании тока индуктивное сопротивление линии вызывает падение напряжения вдоль линии, а следовательно, и уменьшение ее пропускной способности. Чтобы увеличить пропускную способность линии электропередачи, а также повысить динамическую устойчивость и уменьшить колебания напряжения, вызываемые изменениями нагрузки линии, применяют емкостную компенсацию индуктивного сопротивления, осуществляемую последовательным (продольным) включением конденсаторов в линию. Благодаря большой эффективности и экономичности продольная емкостная компенсация в последнее время широко используется в распределительных сетях от 3 до 35 кВ и линиях электропередачи от 110 до 750 кВ.

В настоящее время для продольной компенсации выпускаются конденсаторы КСП0,66-40У1 и КСПК1,05-120У1. Условное обозначение конденсатора расшифровывается следующим образом: К (первое) — конденсатор, С — пропитанный синтетической жидкостью, П — для продольной компенсации, К (последнее) — комбинированный (бумажно-пленочный) диэлектрик; первое число после букв — номинальное напряжение в киловольтах, второе — мощность в кварах.

По конструкции эти конденсаторы мало отличаются от косинусных. Они снабжены разрядными резисторами, каждая секция конденсатора защищена плавким предохранителем.

§ 18. Конденсаторы повышенной частоты для электротермических установок

В машиностроении широко используют индукционный нагрев металлов токами высокой частоты (поверхностная закалка и легирование стали, ковка, штамповка и прокат, плавка металлов, пайка и т. п.). Применение индукционного нагрева вместо нагрева в печах и горнах позволило усовершенствовать и автоматизировать многие технологические процессы обработки металлов, резко повысить производительность, качество обработки и культуру производства.

Для индукционного нагрева металлов служат электротермические установки, в которых энергия высокой частоты от источника питания передается в нагреваемый металл при помощи индуктора. Индуктор представляет собой катушку из одного или нескольких витков медного провода, в которую помещают нагреваемый металл. При подаче на катушку напряжения высокой частоты переменное магнитное поле будет наводить в металле вихревые токи, которые вызовут его нагрев.

Индукционный нагрев связан с большим потреблением индуктивного тока индуктором, что обусловливает очень низкий коэффициент мощности установок (0,1—0,01). Для повышения коэффициента мощности индукционных электротермических установок служат силовые конденсаторы серий ЭСВ и ЭСВП (ГОСТ 18680—73). Реактивная энергия, запасаемая в индукторе, направляется не в генератор, а в конденсаторную батарею, что позволяет использовать генераторы мощностью в 10—20 раз меньшей, чем без применения конденсаторов. Основные технические данные конденсаторов приведены в табл. 6. Общий вид и схемы соединения конденсаторов показаны на рис. 14.

Таблица 6. **Основные технические данные конденсаторов повышенной частоты для электротермических установок**

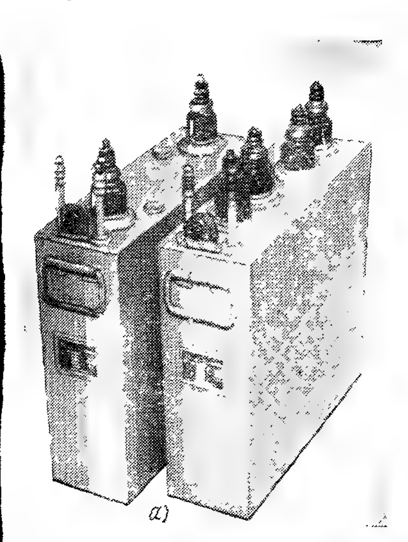
Тип	Напряжение, кВ	Частота, кГц	Емкость, мкФ	Мощность, квар	Испытательное напряжение, кВ	Удельные характеристики	
						квар/кг	квар/м³·10³
ЭСВ-0,8-0,5-2У3	0,8	0,5	99,50	200	3,44	5,7	12,5
ЭСВ-1-0,5-2У3	1,0	0,5	63,60	200	4,30	5,7	12,5
ЭСВ-1,6-0,5-2У3	1,6	0,5	24,90	200	6,88	5,7	12,5
ЭСВ-2-0,5-2У3	2,0	0,5	15,91	200	8,60	5,7	12,5
ЭСВ-0,8-1-2У3	0,8	1,0	62,20	250	3,44	7,1	15,6
ЭСВ-1-1-2У3	1,0	1,0	39,80	250	4,30	7,1	15,6
ЭСВ-1,6-1-2У3	1,6	1,0	15,55	250	6,98	7,1	15,6
ЭСВ-2-1-2У3	2,0	1,0	9,95	250	8,60	7,1	15,6
ЭСВ-0,5-2,4-4У3	0,5	2,4	79,60	300	2,15	8,6	18,8
ЭСВ-0,8-2,4-2У3	0,8	2,4	31,20	300	3,44	8,6	18,8
ЭСВП-0,8-2,4-У3	0,8	2,4	31,20	300	3,44	8,6	18,8
ЭСВ-1-2,4-2-У3	1,0	2,4	19,90	300	4,30	8,6	18,8
ЭСВП-1-2,4-У3	1,0	2,4	19,90	300	4,30	8,6	18,8
ЭСВ-1,6-2,4-2У3	1,6	2,4	7,80	300	6,88	8,6	18,8
ЭСВ-2-2,4-2У3	2,0	2,4	4,97	300	8,60	8,6	18,8
ЭСВ-0,5-4-4У3	0,5	4,0	55,70	350	2,15	10,0	21,9
ЭСВ-0,8-4-2У3	0,8	4,0	21,80	350	3,44	10,0	21,9
ЭСВП-0,8-4У3	0,8	4,0	21,80	350	3,44	10,0	21,9
ЭСВ-1-4-2У3	1,0	4,0	13,90	350	4,30	10,0	21,9
ЭСВП-1-4-У3	1,0	4,0	13,90	350	4,30	10,0	21,9
ЭСВ-1,6-4-2У3	1,6	4,0	5,45	350	6,88	10,0	21,9
ЭСВ-2-4-2У3	2,0	4,0	3,48	350	8,60	10,0	21,9
ЭСВ-0,5-10-4У3	0,5	10,0	25,50	400	2,15	11,4	25,0
ЭСВ-0,8-10-2У3	0,8	10,0	9,96	400	3,44	11,4	25,0
ЭСВП-0,8-10-4У3	0,8	10,0	9,96	400	3,44	11,4	25,0

Примечание. В маркировке конденсаторов буквы и цифры означают: Э — электротермический, С — диэлектрик, используемый для пропитки выемной части (синтетическая жидкость), В — с водяным охлаждением, П — подстроечный, для регулирования емкости; первое число после букв — номинальное напряжение в киловольтах, второе — частоту в килогерцах; цифра после второго числа (2, 4) — конструктивное исполнение (количество изолированных выводов); буква У — исполнение (для умеренного климата); последняя цифра 3 — категорию размещения (для внутренних установок). Указанные в таблице конденсаторы с двумя изолированными выводами по требованию, оговоренному в заказе, могут изготовляться с четырьмя.

Большие мощности, обусловленные повышенными частотами, резко увеличивают потери в данных конденсаторах и поэтому большое внимание обращается на отвод тепла и снижение температуры нагрева диэлектрика.

Пакет конденсатора собирают из отдельных секций, соединенных между собой параллельно. Обкладки секций выступают с торцов. Для уменьшения потерь используют фольгу обкладок большей толщины (16 мкм), чем у других типов конденсаторов. С одной стороны пакета к обкладкам припаивают облуженную медную трубку, имеющую вид змеевика, по которой во время работы конденсатора пропускается охлаждающая вода. Концы охлаждающего змеевика выступают над крышкой корпуса. С другой стороны пакета обкладки секций изолируют от корпуса и подсоединяют проводниками к выводам.

Корпус конденсатора сварной, прямоугольной формы (380×120×350 мм) из стали — для конденсаторов, работающих при частоте до 1000 Гц, из латуни, алюминия или немагнитной стали — для конденсаторов, работающих при частоте выше 1000 Гц. На крышке корпуса размещена контактная скоба, соединенная с охлаждающим змеевиком, которая является общим выводом обкладок со стороны змеевика.



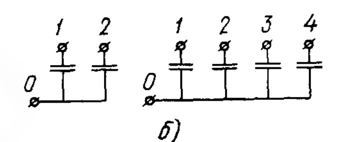


Рис. 14. Конденсаторы для электротермических установок:
а — общий вид, *б* — схемы соединения; 0 — общий вывод, *1—4* — групповые выводы

Секции конденсаторов ЭСВ разбиты по емкости на две или четыре равные группы, каждая из которых имеет самостоятельный вывод. Необходимость такой разбивки секций вызвана большими токами, проходящими через выводы конденсатора. В конденсаторах напряжением до 1000 В выводами для подключения к сети являются общий вывод, соединенный с корпусом, и изолированные, соединяемые вместе. В конденсаторах на напряжение

1000 В и выше выводами для подключения к сети являются изолированные выводы, которые образуют две равные группы емкостей, соединенные последовательно.

Секции конденсаторов ЭСВП разбиты на четыре неравные группы с соотношением емкостей 1 : 2 : 4 : 9. Эти конденсаторы используют для точной подстройки в резонанс контуров электротермических установок.

Конденсаторы для электротермических установок испытывают напряжением постоянного тока 4,3-кратной величины по сравнению с номинальным. Для электротермических установок начат выпуск новой серии конденсаторов ЭСВК с бумажно-пленочным диэлектриком мощностью в 1,5—2 раза выше по сравнению с конденсаторами серии ЭСВ.

Особую группу конденсаторов повышенной частоты представляют конденсаторы ПСВИ, обе обкладки и змеевик для пропускания охлаждающей воды которых изолированы от корпуса.

§ 19. Конденсаторы для емкостной связи, отбора мощности и делителей напряжения

Развитие крупных энергосистем требует обеспечения надежной диспетчерской и административно-хозяйственной связи между их отдельными пунктами, телесигнализации и передачи сигналов телеизмерения, аварийного отключения выключателей, а также релейной защиты линий электропередачи. Поэтому целесообразно использовать линии электропередачи вместо строительства дополнительных линий связи вдоль высоковольтных линий.

Обычно связь по высоковольтным линиям осуществляется при частоте 40—500 кГц. Одним из элементов оборудования такой связи являются конденсаторы, которые отделяют аппаратуру связи от высокого напряжения, пропуская токи высокой частоты по каналам связи. Конденсаторы подключают одним выводом к проводам линии передачи, а другим — через высокочастотный автотрансформатор к земле. В некоторых случаях конденсаторы используют для отбора мощности при частоте 50 Гц для питания измерительной аппаратуры и силового оборудования.

Каналы связи отделяют от силовых распределительных сетей (подстанции) высокочастотным заградителем (катушкой индуктивности), который включается в рассечку высоковольтной линии, пропуская токи частотой 50 Гц и оказывая большое сопротивление прохождению токов высокой частоты.

Принципиальная схема высокочастотной связи с отбором мощности показана на рис. 15. Связь по линиям электропередачи напряжением 500 кВ осуществляется через конденсаторы связи, которые состоят из трех последовательно включенных элементов СМ $166/\sqrt{3}$-14. В линиях электропередачи 110, 154, 220 и 330 кВ применяют конденсаторы связи, которые собирают из одного или

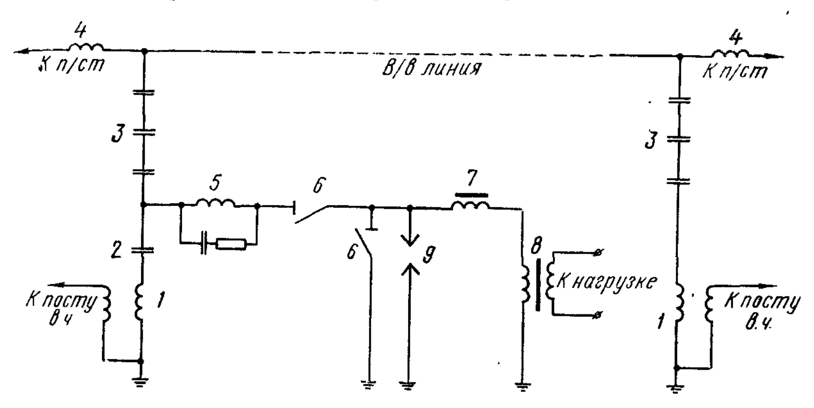


Рис. 15. Схема устройства связи и конденсаторного отбора мощности от линии электропередачи 500 кВ:

1 — высокочастотный трансформатор, 2 — конденсатор отбора мощности, 3 — конденсатор связи, 4 и 5 — высокочастотные заградители, 6 — разъеднинитель, 7 — реактор, 8 — трансформатор отбора мощности, 9 — искровой защитный промежуток

нескольких последовательно включаемых элементов конденсаторов СМ $66/\sqrt{3}$-4,4 или СМ $110/\sqrt{3}$-6,4. Конденсатор СМ $110/\sqrt{3}$-6,4 заменяет два конденсатора СМ $66/\sqrt{3}$-4,4.

Для отбора мощности служат конденсаторы ОМ 15-107. Конденсаторы для емкостной связи, отбора мощности и измерения напряжения выпускают по ГОСТ 15581—80. Основные технические данные конденсаторов связи для умеренного климата приведены в табл. 7, а общий вид — на рис. 16. Их выполняют также для холодного и тропического климата.

Корпусами конденсаторов являются фарфоровые покрышки с утолщенными торцами для механического крепления крышек. Выемная часть представляет собой один (СМ $66/\sqrt{3}$)или несколько пакетов, соединенных па-

Таблица 7. Основные технические данные конденсаторов связи, отбора мощности и делителей напряжения

Тип	Напряжение, кВ	Емкость, мкФ	Испытательное напряжение, кВ	Масса, кг	Габариты, мм	
					высота	диаметр
СМ 66/$\sqrt{3}$-4,4У1	38	0,0044	100	70	890	280
СМ 110/$\sqrt{3}$-6,4У1	64	0,0064	215	140	1170	330
СМ 166/$\sqrt{3}$-14У1	96	0,014	262	765	1375	730
ОМ 15-107У1	15	0,107	55	345	455	730
ДМРИ 188/$\sqrt{3}$-0,012У1	109	0,012	250	750	1375	730
ДМРИ 15-0,105У1	15	0,105	55	420	455	730
ДМР 55-0,0033У1	55	0,0033	160	80	890	294
ДМР 60-0,0022У1	60	0,0022	160	80	890	294
ДМР 60-0,0026У1	60	0,0026	160	80	890	294
ДМР 80-0,001У1	80	0,001	160	90	890	294
ДМР 80-0,0044У1	80	0,0044	160	175	790	448
ДМК 190-0,0016У1	190	0,0016	320	230	1380	330

Примечание. В маркировке конденсаторов буквы и цифры означают: С, О или Д — назначение (для связи, отбора мощности или делителей напряжения), М — диэлектрик, используемый для пропитки (масло), Р или К — наличие в конденсаторе расширителя, И — измерительный; первое число — номинальное напряжение в киловольтах, второе — номинальную емкость в микрофарадах для делителей напряжения и нанофарадах для конденсаторов связи; буква У — исполнение (для умеренного климата), последняя цифра 1 — категорию размещения (для наружных установок).

раллельно-последовательно (СМ 166/$\sqrt{3}$) или параллельно (ОМ 15). Пакеты состоят из большого числа последовательно соединенных секций. Герметизация конденсаторов осуществляется с помощью прокладок из масло- и морозостойкой резины.

Чтобы обеспечить компенсацию давления масла внутри конденсатора при колебаниях температуры окружающей среды, применяют расширители, представляющие

собой набор мембранных коробок, которые укладывают над пакетом. Мембранные коробки изготовляют из двух стальных тарельчатых мембран, герметично сваренных между собой. В конденсаторах предусматривается избыточное давление масла, с тем чтобы во всем диапазоне рабочих температур внутри них не создавалось разрежение.

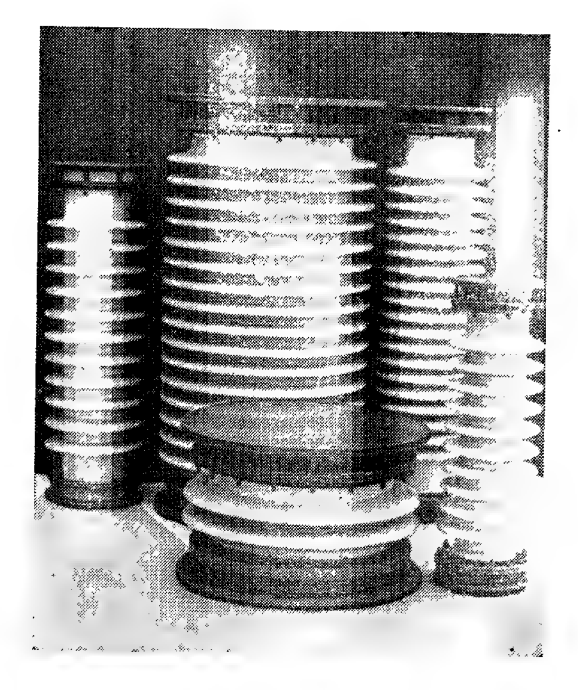


Рис. 16. Конденсаторы связи

Конденсаторы для делителей напряжения серии ДМР по конструкции аналогичны конденсаторам связи и предназначены для емкостных делителей напряжения, мощных высоковольтных разрядников, выключателей, трансформаторов напряжения линий электропередачи 220—500 кВ.

Для комплектования делителей емкостных трансформаторов напряжения, обеспечения высокочастотной связи по линии электропередачи напряжением 750 кВ, телемеханики, защиты, измерения напряжения и отбора мощности выпускают конденсаторы ДМРИ 188/$\sqrt{3}$-0,012 и

ДМРИ 15—0,105. С этой же целью для линий напряжением 500-1150 кВ изготовляют конденсаторы СМИ $166/\sqrt{3}$-14 и СОМИ $166/\sqrt{3}+15—14+107$, а также СМИ $188/\sqrt{3}$-12 и СОМИ $188/\sqrt{3}+15—12+107$, которые обеспечивают возможность измерения напряжения в широком диапазоне температур (от —40 до +40°С) с погрешностью 0,5—1%.

Конденсаторы СМИ$166/\sqrt{3}$ и СМИ $188/\sqrt{3}$ по конструкции аналогичны конденсатору СМ $166/\sqrt{3}$ и предназначены для комплектования верхнего плеча делителя. Конденсаторы СОМИ представляют собой нижнее плечо делителя емкостью 107 (105) нФ на напряжение 15 кВ и один элемент верхнего плеча делителя емкостью 14 (12) нФ на напряжение $166/\sqrt{3}(188/\sqrt{3})$ кВ, выполненных в одной покрышке.

§ 20. Конденсаторы для линий электропередачи постоянного тока

Передача электроэнергии на дальние расстояния на постоянном токе обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с передачей ее на переменном токе:

при передаче на постоянном токе полностью отпадает необходимость синхронизации генераторов в энергосистемах, связанных этими линиями;

индуктивность линии электропередачи постоянного тока не влияет на ее пропускную способность (пропускная способность дальних линий электропередачи постоянного тока определяется лишь технически и экономически правильным выбором поперечного сечения проводов);

резко снижается стоимость строительства линий электропередачи, поскольку линия электропередачи постоянного тока состоит из двух проводов (вместо трех при переменном токе);

при передаче на постоянном токе землю можно использовать в качестве обратного провода.

Передача электроэнергии на постоянном токе состоит в том, что переменный ток, вырабатываемый на электростанции, преобразуется в постоянный, а на приемном конце линии передачи происходит обратное преобразование постоянного тока в переменный. На постоянном токе осуществляется лишь передача электроэнергии на необходимое расстояние. Преобразование переменного тока в постоянный и обратно производится на преобразовательных подстанциях, сооружаемых на обоих концах линии электропередачи.

Для передачи электроэнергии на постоянном токе построена линия электропередачи Волгоград — Донбасс. Постоянный ток напряжением ±400 кВ передается на расстояние 473 км. Сооружение этой линии потребовало создания серий специальных конденсаторов высокого напряжения, являющихся одним из элементов преобразовательных подстанций.

В настоящее время для линий электропередач постоянного тока выпускают конденсаторы ДС 80-0,065У4 и КСФ 6,3-50У1, в маркировке которых буквы и цифры означают следующее: Д и К — назначение (для цепей демпфирования и косинусный), С — род пропитки (синтетическая жидкость), Ф — для настроенных фильтров шунтовых батарей; первое число — номинальное напряжение в киловольтах, второе — емкость в микрофарадах или мощность в кварах; буква У — исполнение, цифры 1 и 4 — категорию размещения.

Конденсаторы предназначены для сглаживания кривой выпрямленного напряжения, отфильтровывания высших гармоник, демпфирования переходных процессов и рассчитаны для работы при одновременном приложении постоянного тока высокого напряжения и переменного несинусоидального тока.

Конденсаторы КСФ в металлических корпусах по конструкции аналогичны конденсаторам КС. Конденсаторы ДС в фарфоровых корпусах по конструкции и габаритам не отличаются от конденсаторов связи СМ $166/\sqrt{3}$.

§ 21. Конденсаторы фильтровые и для тиристорных преобразователей

Основным током, применяемым в электрической тяге, является постоянный ток, получаемый на тяговых подстанциях преобразованием переменного тока промышленной частоты. В результате преобразования переменного тока с помощью выпрямителей получается пульсирующий ток, который состоит из двух слагаемых (составляющих) — постоянной и переменной. Для сглаживания пульсаций выпрямленного тока служат филь-

тры из конденсаторов большой емкости и катушек индуктивности с железом (дросселей).

Конденсаторы, оказывающие очень малое сопротивление переменной составляющей и очень большое постоянной составляющей тока, включаются в фильтры параллельно выпрямителю. Наоборот, дроссели, оказывающие большое сопротивление переменной составляющей и малое постоянной составляющей тока, включают в фильтре последовательно. Такие фильтры позволяют переменной составляющей тока свободно проходить через конденсаторы, минуя потребителя, а постоянной составляющей — свободно проходить через дроссели и направляться в цепь потребителя. Таким образом, в цепи потребителя проходит постоянный ток.

В фильтрах тяговых подстанций применяют силовые конденсаторы ФМТ4-12 (Ф — фильтровые, М — масляные, Т — для тяговых подстанций, на напряжение 4 кВ и емкостью 12 мкФ), которые по конструкции аналогичны косинусным конденсаторам и рассчитаны на длительную работу при напряжении постоянного тока 4 кВ с наложением переменной составляющей частотой 300—1440 Гц, не превышающей соответственно 1—2 А на 1 мкФ.

Для фильтров высоковольтных выпрямителей выпускаются конденсатор ФК 200-0,15 (Ф — фильтровый, К — с пропиткой касторовым маслом, на напряжение 200 кВ, емкостью 0,15 мкФ), а также серия конденсаторов ФМ с пропиткой конденсаторным маслом на напряжения 40, 63 и 100 кВ (ФМ 40-68У3, ФМ 63-33У3, ФМ 100-15У3 ФМ 100-22У3). Общий вид конденсатора ФМ на напряжение 100 кВ и емкостью 22 нФ показан на рис. 17. Вследствие высокого напряжения корпуса конденсаторов выполняют из изоляционного материала (полипропилена).

В последние годы широко применяют силовые полупроводниковые (тиристорные) преобразовательные устройства (СППУ) для управления электроприводом.

Тиристорное управление, заменяющее контакторно-реостатное управление на бесконтактное, имеет ряд преимуществ:

в результате устранения контактной коммутационной аппаратуры повышается надежность электрооборудования;

устраняются потери в пусковых сопротивлениях;

плавно регулируется скорость движения;

возможно повышение напряжения питающей сети (например, в контактной сети железнодорожного транспорта), в результате значительно снижаются стоимость электроснабжения и потери электроэнергии и т. д.

Наибольшее применение получили импульсные преобразователи, которые, преобразуя постоянный ток сети в отдельные чередующиеся импульсы, с помощью емкостей и индуктивностей формируют ток, поступающий в тяговые двигатели. Напряжение, подводимое к двигателю, регулируется частотой импульсов.

Одним из важных элементов СППУ являются конденсаторы, предназначенные для коммутации вентилей, компенсации реактивной мощности, фильтрации высших гармоник и демпфирования колебаний.

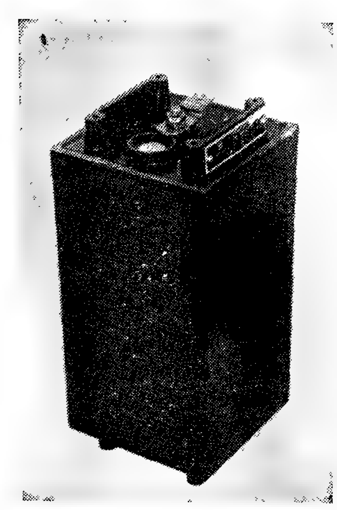


Рис. 17. Конденсатор ФМ100-22У3

Таблица 8. **Основные технические данные конденсаторов для тиристорных преобразователей**

Тип	Напряжение, кВ		Частота, кГц	Емкость, мкФ
	постоянное	переменное		
РСТ-2-2,12У2	3,15	2	0,8	2,12
РСТ-2-4У2	3,15	2	0,4	4,00
РСТО-2-6,15У2	3,15	2	0,4	6,15
ФСТ-2,1-160У2	2,1	—	—	160
ФСТ-4-40У2	4,0	—	—	40
ФСТ-0,75-300У2	0,75	—	—	300
ГСТ-1-50У2	—	1	0,4	50

Примечание. В маркировке конденсаторов буквы и цифры означают: первая буква — назначение (Р — регулирующий, Ф — фильтровый, Г — гасящий), С — пропитывающая (синтетическая) жидкость, Т — для схем тиристорного управления, О — охлаждение (воздушно-принудительное); первое число — напряжение в киловольтах, второе — емкость в микрофарадах; буква У — исполнение (для умеренного климата); последняя цифра — категорию размещения.

Для работы в схемах тиристорного управления электроприводом вагонов метрополитена и электровозов выпускается серия конденсаторов, основные технические данные которых приведены в табл.8. Особенность этих конденсаторов заключается в том, что они рассчитаны для работы при несинусоидальных токах и напряжениях, а некоторые из них требуют принудительного воздушного охлаждения. По конструкции они аналогичны конденсаторам КС первого габарита.

§ 22. Импульсные конденсаторы

В группу импульсных конденсаторов входят конденсаторы, работающие в режиме заряд — разряд. Накопленную в конденсаторе в процессе заряда электрическую энергию используют для получения мощных кратковременных импульсов тока и напряжения большой амплитуды.

Импульсные конденсаторы широко применяются в различных областях науки и техники, а номенклатура их постоянно увеличивается. Конденсаторы используют при ядерных исследованиях и для удержания плазмы, в лазерной технике и для газоразрядных источников света, в аэродинамике и астрофизике, в промышленной технологии и медицине, для работы в мощных колебательных контурах и в импульсных генераторах тока и напряжения и т. д.

Импульсные конденсаторы выпускают на напряжение от 250 В до 200 кВ с энергией заряда до нескольких тысяч джоулей в единице для работы при апериодическом или колебательном разряде с частотой следования импульсов от одного в минуту до сотен герц. Собственная индуктивность отдельных типов конденсаторов не превышает 10—40 нГн.

В связи с разнообразием областей применения и режимов работы выпускают импульсные конденсаторы различных конструктивных форм. Основные технические данные импульсных конденсаторов приведены в табл. 9.

Импульсные конденсаторы выполняют в металлических и изоляционных корпусах преимущественно прямоугольной формы. Изоляционные корпуса применяют для конденсаторов напряжением 100 кВ и выше. Материалами для изготовления изоляционных корпусов служат пластмассы (полипропилен, полиамидные смолы).

Таблица 9. Основные технические данные импульсных конденсаторов

Тип	Напряжение, кВ	Емкость, мкФ	Энергия заряда, Дж	Индуктивность, нГн	Габариты, мм	Масса, кг	Удельная энергия	
							Дж/м³·10³	Дж/кг
ИМ 2-5-140У4	5	140	1750	600	310×150×590	50	63,8	35,0
ИМ 70-0,3У3	70	0,3	735	300	455×150×326	32	33,1	23,0
ИС 6-200ХЛ2	6	200	3600	600	309×133×680	55	130	65,5
ДС 7-16Т4	7	16	392	260	172×112×165	6	126	68,8
ИС 4-13У3	4	13	104	—	380×120×325	30	7,0	3,5
ИС 6-5,5У3	6	5,5	99	—	380×120×325	30	6,7	3,3
ИС 16-0,8У3	16	0,8	102	—	380×120×325	30	6,9	3,4
ИС 20-0,5У3	20	0,5	100	—	380×120×325	30	6,8	3,3
ИК 6-150ТС4	6	150	2700	60	310×150×590	45	98,5	59,0
ИК 10-50У4	10	50	2500	500	310×158×590	50	91,3	50,0
ИК 25-13У4	25	13	4062	350	310×310×670	120	56,8	34,4
ИК 25-12У4	25	12	3750	40	310×310×670	120	68,0	34,0
ИК 40-5У4	40	5	4000	40	310×310×670	120	56,0	35,0
ИК 50-3У4	50	3	3750	40	310×310×670	120	56,8	34,0
ИКМ 50-3У4	50	3	3750	25	310×310×670	120	58,4	31,3
ИКГ 50-1У4	50	1	1250	500	310×310×670	120	18,7	10,4
ИК 100-0,25У4	100	0,25	1250	150	455×150×326	30	56	41,6
ИК 100-0,4У4	100	0,4	2000	150	455×150×326	32	90	66,7
ИК 200-0,1У4	200	0,1	2000	200	455×150×326	32	90	66,7

Примечание. В маркировке конденсаторов буквы и цифры означают: первая буква — назначение (И — импульсный, Д — для дифибрилляторов); вторая — род пропитки (М — нефтяное масло, С — синтетическая жидкость, К — касторовое масло); третья — конструкцию (Г — для электрогидравлических установок, М — малоиндуктивный); первое число — номинальное напряжение в киловольтах; второе — номинальную емкость в микрофарадах; буквы У, Т, ТС или ХЛ — исполнение; последняя цифра — категорию размещения.

Для пропитки конденсаторов применяют конденсаторное и касторовое масло, а также хлорированные дифенилы. Конденсаторное масло используют, как правило, в конденсаторах, работающих в колебательном режиме, в котором тангенс угла диэлектрических потерь конденсатора определяет его нагрев. Синтетические жидкости с большой диэлектрической проницаемостью применяют для получения больших значений энергии в единице объема.

Для получения высоких значений удельной энергии и увеличения срока службы конденсаторов, работающих

с небольшой частотой повторения импульсов, для пропитки обычно используют касторовое масло.

При больших импульсах тока в конденсаторе возникают значительные электродинамические усилия, которые могут вызвать механическое разрушение диэлектрика. Поэтому в конструкциях импульсных конденсаторов в отличие от других типов особое внимание уделяется механической устойчивости всех токоведущих частей.

С этой целью соединительные шины и токоотводы секций делают более массивными и предъявляют высокие требования к надежности сварных и паяных соединений.

Если необходимо получить импульсы тока высокой амплитуды (сотни килоампер), конденсаторы должны обладать малой собственной индуктивностью. Это вызывается тем, что на собственную индуктивность конденсатора L в начале импульса ответвляется энергия $LI^2/2$, которая хотя и не теряется (поскольку при дальнейшем течении разряда она создает дополнительный ток), но уменьшает амплитуду импульсного тока и скорость его нарастания. Величина собственной индуктивности конденсатора в целом определяется индуктивностью его отдельных элементов: секций, внутренних соединений и выводов.

Индуктивность секций определяется ее геометрическими размерами, размерами токоотводов и их расположением. Снижение индуктивности достигается уменьшением толщины и ширины секций, а также расположением токоотводов с одного торца, друг против друга посередине длины обкладок. Индуктивность уменьшается и при увеличении количества токоотводов и их ширины. Поэтому для получения большой емкости секций целесообразно применять широкую фольгу и бумагу.

Для снижения индуктивности конденсатора секции в пакетах необходимо соединять параллельно. Последовательное соединение увеличивает индуктивность пропорционально числу секций (групп секций). Кроме того, применяемые в конденсаторах предохранители для отключения секций при их пробое затрудняют получение малой индуктивности конденсаторов. Для значительного снижения индуктивности конденсаторов служат малоиндуктивные выводы, которые выполняют в виде плоских шин, разделенных тонкой изоляционной перегородкой или коаксиально.

Одна из особенностей импульсных конденсаторов состоит также в том, что они должны обладать малым значением собственного активного сопротивления, поскольку нагрев конденсатора при больших импульсах происходит главным образом за счет потерь в металле, а не в диэлектрике. При разряде конденсатора потери энергии распределяются между конденсатором и нагрузкой прямо пропорционально их активным сопротивлениям. При очень малом сопротивлении нагрузки вся энергия, запасенная в конденсаторе, выделяется в самом конденсаторе. Потери в конденсаторе

$$P_к = U_к^2 C_к n/2,$$

где $P_к$ — мощность потерь в конденсаторе, Вт; $C_к$ — емкость конденсатора, Ф; $U_к$ — напряжение заряда конденсатора, В; n — число разрядов конденсатора в единицу времени.

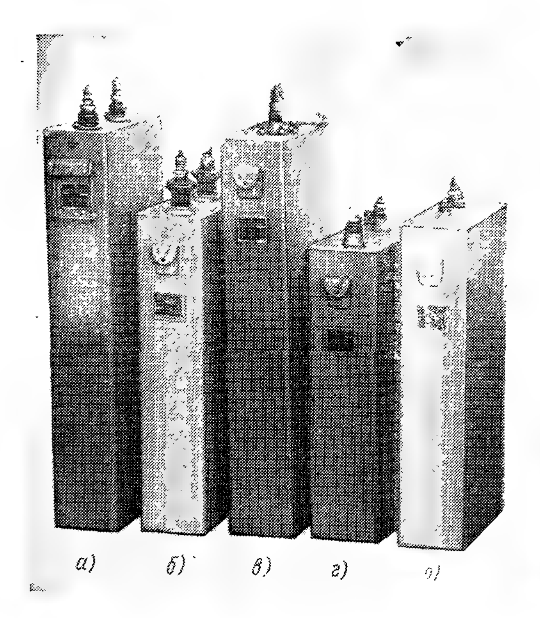
Потери в металле можно уменьшить увеличением толщины фольги обкладок, числа токоотводов в секции, применением секций с выпущенной фольгой и уменьшением потерь в других токоведущих частях.

Нагрев конденсатора может происходить и при его заряде в апериодическом режиме, поскольку в зарядной цепи теряется такая же энергия, какая накапливается в конденсаторе. Потери энергии в конденсаторе и в зарядной цепи, как и при разряде, распределяются пропорционально их активным сопротивлениям.

Импульсные конденсаторы в металлических корпусах II габарита показаны на рис. 18, *а — д*. Конденсатор ИК6-150ТС4 (см. рис. 18, *д*) благодаря определенному расположению токопроводящих шин и специальной конструкции вывода обладает малой индуктивностью. Секции в пакетах соединены параллельно и снабжены предохранителями. Эти конденсаторы служат для получения мощных импульсов тока при исследованиях управляемых термоядерных реакций и других целей.

Конденсаторы ИК 50-3У4 (рис. 19), ИК 40-5У4 и ИК 25-12У4 выполнены в металлическом корпусе с коаксиальным выводом на крышке. Крышка с выводом состоит из стальной рамы и эпоксидного изолятора с цилиндрическим барьером. В центре изолятора помещен высоковольтный вывод. Низковольтным выводом конденсаторов служит стальное кольцо с отверстиями под болты, приваренное к раме. Выемная часть конденсато-

ров состоит из четырех параллельно соединенных пакетов. Соединение секций в пакете конденсаторов ИК 50-3У4 и ИК 40-5У4 последовательное, а конденсатора ИК 25-12У4 — параллельно-последовательное. Эти конденсаторы предназначены для установки в различных схемах генераторов импульсных токов. Конденса-



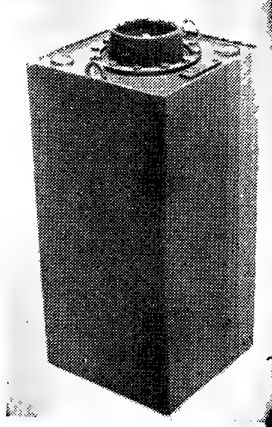


Рис. 18. Импульсные конденсаторы:
а — ИС6-200ХЛ2, *б* — ИК10-50У4, *в* — ИМУ5-140У4, *г* — ИМ2-5-140У4, *д* — ИК6-150ТС4

Рис. 19. Конденсатор ИК50-3У4

тор ИКГ 50-1 (рис. 20) предназначен для установок с использованием электрогидравлического эффекта.

Электрогидравлический эффект — это новый вид преобразования электрической энергии в механическую без промежуточных звеньев с высоким коэффициентом полезного действия.

Явление электрогидравлического эффекта заключается в том, что при создании внутри объема жидкости специально сформированного импульсного электрического разряда конденсатора в зоне разряда развиваются высокие давления, которые используют в практических целях. На основе этого явления разработаны установки

для очистки литья, дробления горных пород, созданы бурильные устройства для получения отверстий в непроводящих материалах, режущие устройства и т. д.

Конденсатор ИКГ 50-1 собран в корпусе конденсатора ИК 50-3. Выемная часть состоит из двух соединенных последовательно пакетов, в каждом из которых секции соединены параллельно-последовательно. На крышке корпуса расположены два вывода в фарфоровых изоляторах на напряжение 50 и 20 кВ.

Для получения больших значений удельной энергии некоторые типы импульсных конденсаторов пропитывают синтетическими жидкостями (ДС 7-16, ИС 6-200 и др.). Эти конденсаторы предназначены для работы в режиме заряд — разряд и применяются для специальных целей. Так, конденсаторы ДС

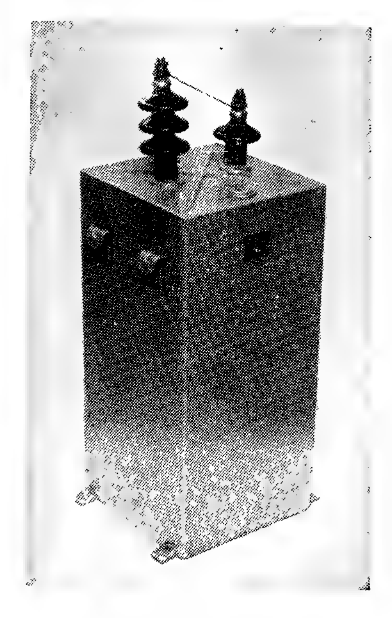
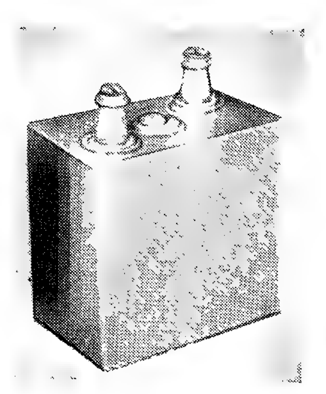


Рис. 20. Конденсатор ИКГ50-1У4



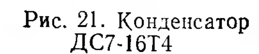


Рис. 21. Конденсатор ДС7-16Т4

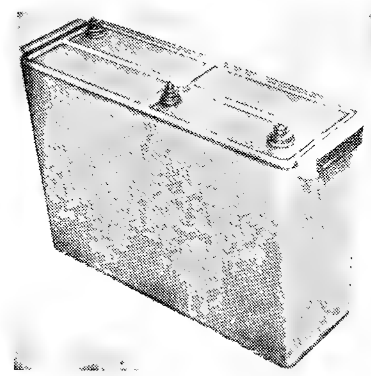


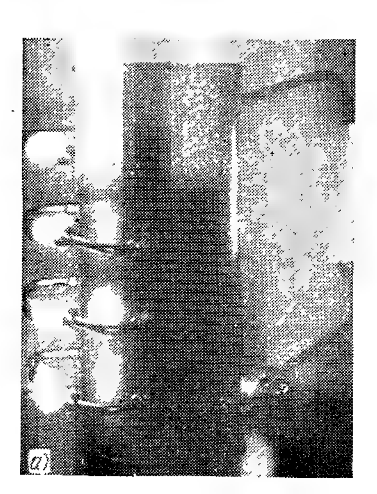
Рис. 22. Конденсатор ИК200-0,1У4

7-16 (рис. 21) широко применяют в медицине — в приборах, называемых дифибрилляторами, ставшими необходимой принадлежностью каждой операционной.

Импульсные конденсаторы на напряжение 100 кВ и выше (рис. 22) выполняют в электроизоляционных корпусах (из полипропилена или полиамидной смолы).

§ 23. Специальные конденсаторы и устройства

Генераторы импульсных напряжений (ГИН) предназначены для получения кратковременных импульсов высокого напряжения при различных лабораторных исследованиях.



Генератор ГИН 500-0,02/5 (рис. 23, *а*) состоит из пяти конденсаторных пакетов емкостью по 0,02 мкФ и резисторов с сопротивлением $R1$ = 18 кОм, $R2$ = 12 кОм и $R3$ = 24 кОм, собранных по схеме, приведенной на рис. 23, *б*, в общий цилиндрический корпус из бакелизированной бумаги и залитых минеральным маслом. Резисторы $R1$ по конструктивным соображениям набираются из нескольких элементов, соединяемых последовательно.

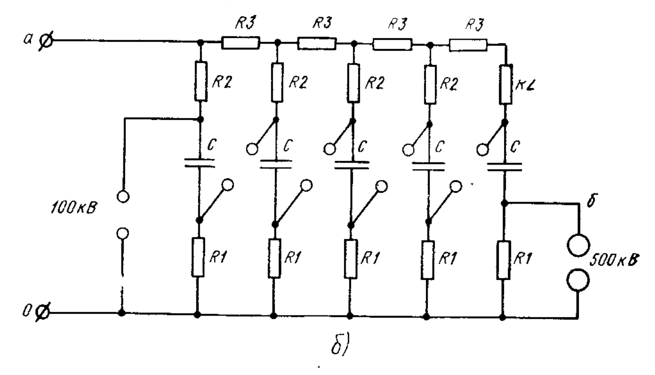


Рис. 23. Импульсный генератор на 500 кВ:
а — общий вид в момент разряда, *б* — схема

Заряд емкостей производится от установки выпрямленного напряжения 100 кВ, подключенной к зажимам *а* — 0. В момент заряда емкости соединены параллельно. При достижении на емкостях напряжения 100 кВ происходит их разряд через искровые промежутки (между шарами), которые вынесены на наружную поверхность корпуса. В момент разряда емкости соединяются последовательно, образуя общую разрядную емкость контура, равную $C/5$ = 0,02/5 мкФ. При этом на зажимах *б* — 0, к которым подключают испытуемый объект, в короткий промежуток времени возникает напряжение, равное сумме напряжений заряда емкостей, т. е. 500 кВ. Характер разрядного импульса напряжения определяют параметрами как генератора, так и испытуемого объекта.

Благодаря объединению всех емкостей и сопротивлений в общем корпусе из изоляционного материала генераторы на 500 кВ имеют сравнительно небольшие габариты (высота 776 мм, диаметр корпуса 350 мм), выпускаются на напряжения 400 и 500 кВ и различаются по емкости. При последовательном соединении двух генераторов можно получить напряжение в импульсном разряде до 1 млн. вольт.

Конденсаторы для рудничных электровозов предназначены для компенсации индуктивного сопротивления тяговой линии и обмоток энергоприемников рудничных высокочастотных электровозов, работающих при частоте 5000 Гц в шахтных условиях.

Откатка рудничными высокочастотными электровозами — это принципиально новая система электрической тяги, сущность которой заключается в индуктивной (бесконтактной) передаче электрической энергии от двух изолированных проводов (линии) к двигателям движущихся электровозов. Откатка высокочастотными электровозами более надежна и безопасна, более производительна и экономична по сравнению с откаткой аккумуляторными электровозами.

Для компенсации индуктивного сопротивления линии и индуктивного сопротивления приемного контура электровоза применяют конденсаторы КСПР 0,5-5У5 (рис. 24), устанавливаемые в подземных камерах угольных шахт и на электровозах.

Диэлектриком в этих конденсаторах служит стирофлексная пленка, залитая под вакуумом синтетической жидкостью, что значительно снижает потери и позволяет не применять искусственного охлаждения конденсаторов. С этой же целью корпуса конденсаторов изготовляют из немагнитного материала (латуни).

Рис. 24. Конденсатор КСПР0,5-5У5

Условное обозначение конденсатора расшифровывается так: К — для компенсации реактивного сопротивления, С — род пропитки (синтетическая жидкость), П — пленочный, Р — для рудничных электровозов и тяговой линии, на напряжение 0,5 кВ и частоту 5 кГц, У — исполнение, 5 (после буквы) — категорию размещения.

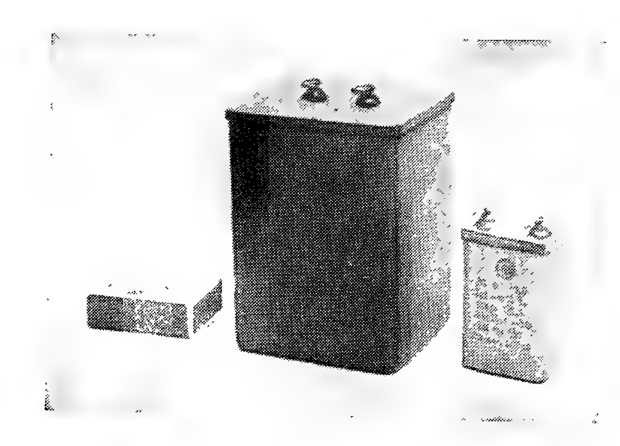


Рис. 25. Конденсаторы для люминесцентных светильников

Особую группу представляют **малогабаритные конденсаторы серии** ЛСЕ (рис. 25), предназначенные для работы в пускорегулирующих аппаратах люминесцентных светильников и служащие для повышения коэффициента мощности, а также в качестве балластных для защиты накальных трансформаторов.

Конденсаторы выполнены в металлических корпусах прямоугольной формы объемом 0,05 — 3 дм³, в которых размещены цилиндрические или плоскопрессованные бумажные секции, пропитанные хлорированными дифенилами. Выводы изолированы стеклянными изоляторами. Рабочее напряжение конденсаторов — 250 и 400 В промышленной частоты, емкость от 0,5 до 100 мкФ. Конденсаторы допускают длительные перегрузки по напряжению в 1,5 раза.

§ 24. Краткие сведения по расчету конденсаторов

Расчет любого конденсатора сводится к нахождению его наивыгоднейших размеров, обеспечивающих получение заданных значений электрических характеристик при наименьшей стоимости. Для расчета конденсатора обычно задаются номинальная емкость, рабочее напряжение и частота, а также указываются условия и режим работы.

Исходя из заданных условий и режима работы конденсатора предварительно выбирают необходимые при расчете толщину и плотность конденсаторной бумаги (пленки), род пропитывающей жидкости, рабочую напряженность электрического поля и толщину диэлектрика между обкладками. Кроме того, задаются величиной емкости секции и диаметром намоточной оправки.

Толщину диэлектрика выбирают с таким расчетом, чтобы сочетать достаточно высокую кратковременную электрическую прочность с возможно большей напряженностью начала возникновения частичных разрядов.

На рис. 26 показаны кривые зависимости электрической прочности конденсаторной бумаги, пропитанной минеральным маслом, от толщины диэлектрика между обкладками при различной толщине бумаги, полученной опытным путем в лаборатории завода «Конденсатор».

Приведенные кривые показывают, что для получения высокой электрической прочности $E_{пр}$ следует применять

конденсаторную бумагу меньшей толщины. Наибольшая электрическая прочность соответствует толщине диэлектрика 40—80 мкм с количеством листов бумаги 5—7. С другой стороны, для повышения напряженности возник-

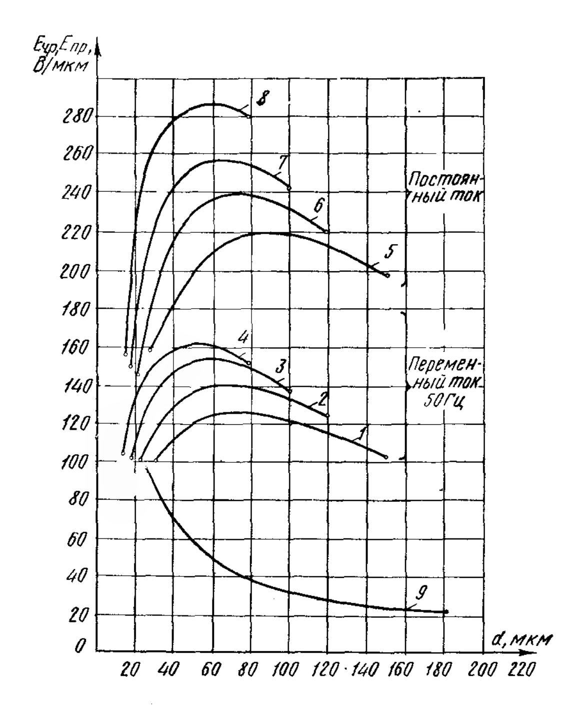


Рис. 26. Зависимости напряженности возникновения частичных разрядов (кривая *9*) и электрической прочности от толщины бумажно-масляного диэлектрика между обкладками конденсатора из бумаги КОН-2 толщиной:

1 и *5* — 15 мкм, *2* и *6* — 12 мкм, *3* и *7* — 10 мкм, *4* и *8* — 8 мкм

новения частичных разрядов $E_{ч.р}$ (кривая *9*) необходимо стремиться к уменьшению толщины диэлектрика. Однако очень малая толщина диэлектрика ведет к резкому снижению электрической прочности как вследствие неоднородности бумаги, так и вследствие наличия в ней токопроводящих частиц (маталлической и угольной пыли и т. д.). Кроме того, применение конденсаторной бумаги малой толщины ввиду ее высокой стоимости повышает стоимость конденсаторов. Число листов конденсаторной бумаги между обкладками в секции обычно выбирают 2—8 при общей толщине диэлектрика 20—80 мкм.

Из рис. 26 видно также, что электрическая прочность пропитанной бумаги при напряжении постоянного тока примерно в 1,8 раза выше электрической прочности при напряжении переменного тока частотой 50 Гц.

С повышением частоты электрическая прочность пропитанной бумаги резко снижается. Например, для бумаги, пропитанной конденсаторным маслом, с повышением частоты от 50 до 10 000 Гц она снижается на 50%. Электрическая прочность снижается и с уменьшением плотности бумаги.

Электрическая прочность пропитанной бумаги зависит также от температуры. Например, с повышением ее от 20 до 100°С электрическая прочность бумаги, пропитанной маслом, как при постоянном, так и при переменном напряжении снижается на 10—15%.

В соответствии с опытными данными испытаний и эксплуатации применяют следующие рабочие напряженности электрического поля силовых конденсаторов в пропитанной бумажной изоляции, В/мкм:

Конденсаторов, пропитанных хлорированными дифенилами и работающих при переменном напряжении частотой 50 Гц	15—20
Конденсаторов, пропитанных хлорированными дифенилами и работающих при переменном напряжении частотой, Гц:	
500—1000	10—12
2500—4000	8—10
8000—10 000	4—6
Конденсаторов связи, пропитанных конденсаторным маслом	7—11
Конденсаторов, пропитанных конденсаторным и касторовым маслами и хлорированными дифенилами, работающих при постоянном напряжении в режимах:	
длительном	30—50
кратковременном при заряд — разрядах	40—75
кратковременном при ограниченном сроке службы	75—100
Конденсаторов с бумажно-пленочным диэлектриком, пропитанных ТХД и работающих при переменном напряжении частотой 50 Гц	35—40

При расчете конденсатора необходимо знать величину диэлектрической проницаемости пропитанной бумаги **ε**,

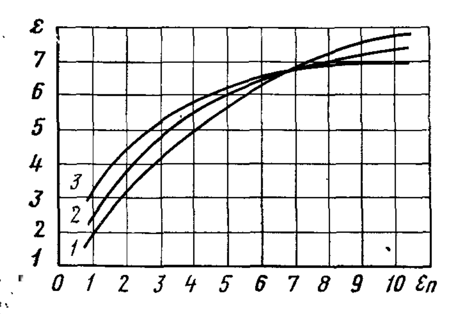


Рис. 27. Зависимости диэлектрической проницаемости пропитанной бумаги от диэлектрической проницаемости пропитывающей жидкости при плотности бумаги:

1 — $0,8 \cdot 10^3$ кг/м³, *2* — $1 \cdot 10^3$ кг/м³, *3* — $1,2 \cdot 10^3$ кг/м³

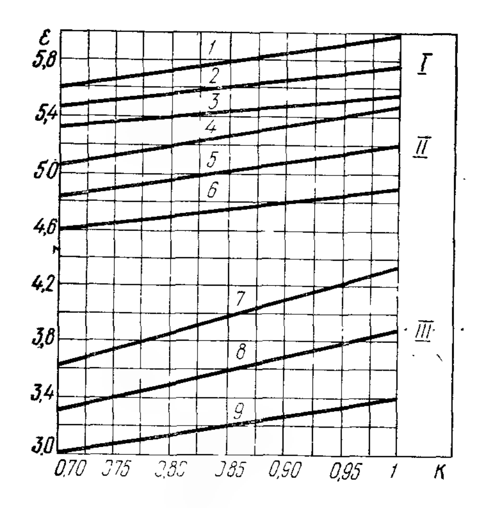


Рис. 28. Зависимости диэлектрической проницаемости бумаги, пропитанной соответственно ТХД (*I*), касторовым (*II*) и конденсаторным (*III*) маслом от коэффициента запрессовки при плотности бумаги:

1, *4* и *7* — $1,2 \cdot 10^3$ кг/м³, *2*, *5* и *8* — $1 \cdot 10^3$ кг/м³, *3*, *6* и *9* — $0,8 \cdot 10^3$ кг/м³

зависящей от плотности бумаги и диэлектрической проницаемости пропитывающей жидкости $\varepsilon_п$. Характер этой зависимости показан на рис. 27.

Точка пересечения кривых соответствует значению ε, при котором диэлектрическая проницаемость пропитывающей жидкости равна диэлектрической проницаемости клетчатки ($\varepsilon_к = 6,5$). Если $\varepsilon_п < \varepsilon_к$, то с увеличением плотности бумаги увеличивается ε. В этом случае для увеличения удельной емкости конденсатора выгоднее применять более плотную бумагу. Наоборот, если $\varepsilon_п > \varepsilon_к$, то увеличение плотности бумаги уменьшает ε, и с точки зрения повышения удельной емкости выгоднее применять менее плотную бумагу.

Диэлектрическая проницаемость пропитанной бумаги зависит также от степени сжатия секций при запрессовке их в пакеты.

Степень сжатия секций характеризуется так называемым **коэффициентом запрессовки**. Поэтому при расчете конденсатора величину диэлектрической проницаемости пропитанной бумаги следует принимать с учетом не только плотности бумаги и диэлектрической проницаемости пропитывающей жидкости, но и с учетом коэффициента запрессовки.

Практически коэффициент запрессовки $к$ всегда меньше единицы и выражается отношением наименьшего расстояния между обкладками секции, равного толщине всех листов бумаги, к фактическому расстоянию, определяемому степенью сжатия, т. е. $к = d_б(d_б + d_з)$, где $d_з$ — общая величина зазоров между листами бумаги, а также между бумагой и обкладками.

Если $d_з = 0$, т. е. зазоры между листами бумаги отсутствуют, коэффициент запрессовки становится равным единице.

Полученные на основании опытных данных зависимости диэлектрической проницаемости пропитанной бумаги от коэффициента запрессовки для бумаги различной плотности показаны на рис. 28. Из приведенных кривых видно, что с увеличением коэффициента запрессовки (при $\varepsilon_п < \varepsilon_к$) диэлектрическая проницаемость пропитанной бумаги увеличивается. Следовательно, чем выше коэффициент запрессовки, тем большая емкость может быть получена в конденсаторе, причем емкость увеличивается не только вследствие возрастания диэлектрической проницаемости, но и вследствие уменьшения расстояния между обкладками.

Однако увеличение коэффициента запрессовки, как и применение более плотной бумаги, приводит к возрастанию тангенса угла потерь диэлектрика в связи с увеличением количества клетчатки в единице объема. Таким образом, более высокие коэффициенты запрессовки применяют, как правило, для конденсаторов постоянного тока. Практически коэффициент запрессовки берут 0,85—0,95.

Емкости секций силовых конденсаторов обычно выбирают от 0,1 до 10 мкФ. С увеличением емкости секции, а следовательно, и площади обкладок возрастает вероятность их пробоя, поэтому нерационально собирать конденсаторы из малого количества секций очень большой емкости. Величина нижнего предела емкости ограничивается возрастанием технологических трудностей и трудоемкости изготовления конденсаторов из-за увеличения количества секций.

Приступая к расчету конденсатора, прежде всего выбирают рабочую напряженность электрического поля E. Тогда необходимая общая толщина диэлектрика конденсатора при его рабочем напряжении $d=U/E$.

Количество последовательно включенных секций (или групп) в конденсаторе будет

$$n=d/(d_б+d_з)=kd/d_б.$$

По заданной емкости конденсатора C и выбранной емкости секции C_0 находят количество параллельно включенных секций в последовательно соединенной группе

$$m=nC/C_0.$$

Общее количество секций в пакете конденсатора $Z=mn$.

Емкость секции (мкФ) при рулонной намотке определяют по формуле для подсчета емкости плоского конденсатора (см. § 4), но ее удваивают:

$$C_0=17{,}7\,\varepsilon\frac{bl}{d_б+d_з}\cdot 10^{-9},$$

где b — ширина обкладки, мм; l — длина обкладки, мм; $d_б$ — толщина бумаги между обкладками, мм; $d_з$ — общая величина зазоров, определяемая коэффициентом запрессовки, мм.

Выбрав стандартную ширину фольги b, находят по формуле для емкости секции длину обкладки l. По размерам обкладок определяют ширину и длину конденсаторной бумаги с учетом величины закраин, которые служат для предотвращения пробоя (перекрытия) между обкладками по торцу секции, и размеры секции.

По количеству и размерам секции находят размеры пакета, а затем и корпуса конденсатора. После определения размеров конденсатора при необходимости производят его тепловой расчет.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные типы силовых конденсаторов.
2. Перечислите основные элементы конструкции конденсатора и укажите их назначение.
3. Для чего осуществляют компенсацию реактивной мощности электрических установок?
4. Для чего производят компенсацию реактивного сопротивления линий электропередачи?

5. Каково назначение конденсаторов повышенной частоты?
6. Для чего служат конденсаторы связи и отбора мощности?
7. Расскажите о назначении конденсаторов при передаче электроэнергии на постоянном токе.
8. Где и для каких целей применяют фильтровые конденсаторы?
9. Где используют импульсные конденсаторы?
10. Какие напряженности электрического поля принимают для конденсаторов различного типа?
11. Каков порядок расчета конденсатора?

Глава IV. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПАКЕТОВ КОНДЕНСАТОРОВ

§ 25. Намоточные станки

Применение конденсаторной бумаги, синтетических пленок и алюминиевой фольги в рулонах позволяет при изготовлении конденсаторов использовать для намотки секций намоточные станки, которые являются одним из основных видов технологического оборудования конденсаторного производства.

К наиболее совершенным можно отнести отечественный модернизированный намоточный станок СНК-18, устройство которого показано на рис. 29. Станок состоит из металлического стола *8*, на котором вертикально расположена двухстенная станина *5* с системой свободно вращающихся шпинделей *13* и *14* для установки бобин бумаги, пленки и рулонов фольги, и рабочим шпинделем для закрепления намоточной оправки *16*. Параллельно шпинделям расположены направляющие ролики *15*, предназначенные для подачи лент бумаги и пленки (диэлектрика) и фольги на намоточную оправку. Последняя приводится во вращение электродвигателем *9* через фрикционную муфту сцепления *10*, которая позволяет осуществлять плавный пуск и остановку станка. Двигатель включают и выключают кнопками *12*.

При намотке секций бобины бумаги и пленки и рулоны фольги укрепляются на шпинделях конусными гайками. Концы лент диэлектрика и фольги закрепляют на оправку и ножной педалью *18* производят плавный пуск станка. Вращаясь, оправка сматывает на себя с рулонов фольгу и ленты диэлектрика. Когда будет намотано необходимое число витков в секции, станок автоматически останавливается, ленты диэлектрика и фольги обры-

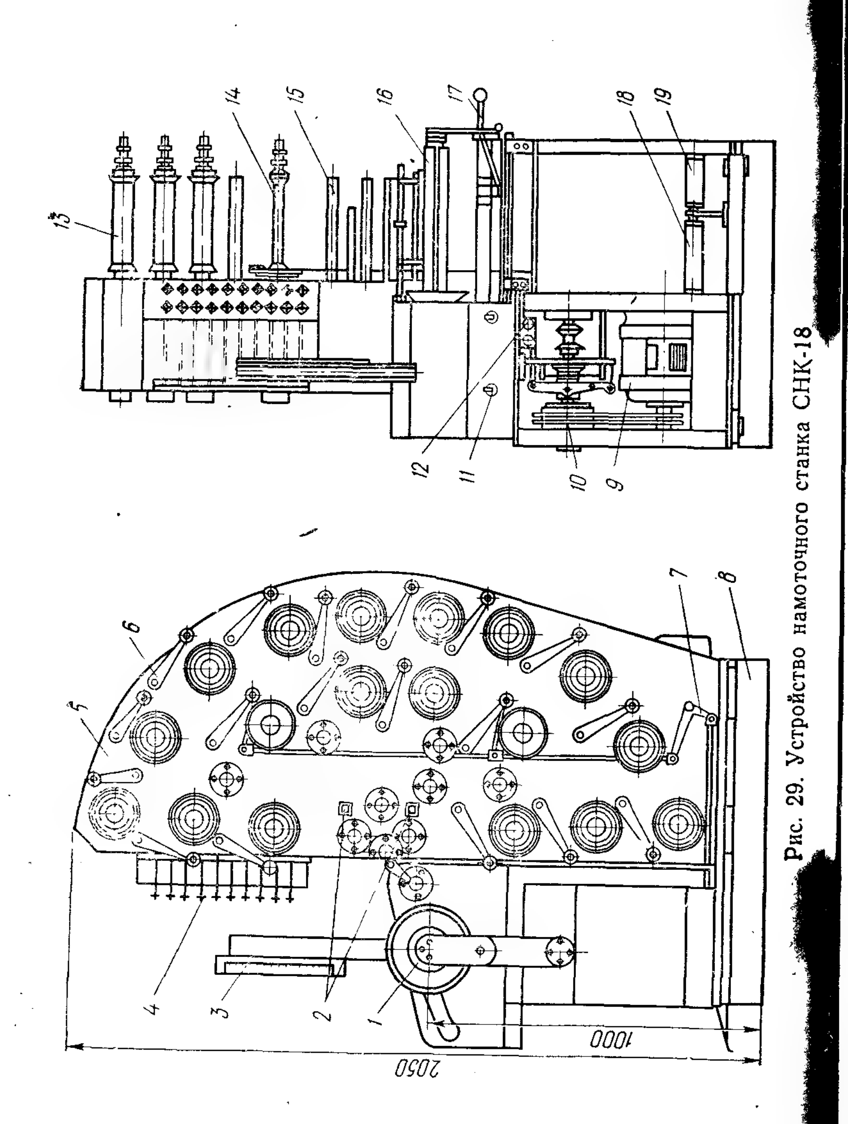


Рис. 29. Устройство намоточного станка СНК-18

вают. Намотанную секцию снимают с оправки и, уложив на рабочий стол, придают ей плоскую форму.

Для обеспечения плотной намотки секций натяжение лент должно быть настолько большим, насколько позволяет механическая прочность диэлектрика и фольги в пределах упругой деформации. Обычно натяжение диэлектрика составляет 2—5Н на 10 мм ее ширины. В процессе намотки наружный диаметр бобин с диэлектриком и рулонов фольги уменьшается, в связи с чем меняется натяжение лент. Для создания равномерного натяжения лент каждый шпиндель станка снабжен тормозным устройством *6* колодочного типа. Натяжение лент регулируют рукоятками *4*.

Шпиндели с бобинами диэлектрика и рулонами фольги при помощи специальных гаек можно сдвигать в осевых направлениях, что позволяет устранять разбег листов диэлектрика и фольги по торцам наматываемой секции.

Для отсчета числа витков в секции при намотке станок снабжен счетчиком *3*, который механически связан с намоточной оправкой, и специальным автоматическим устройством для остановки станка.

Автоматическое устройство останавливает станок после достижения заданного числа витков до укладки токоподводов и в конце намотки секции. Кроме того, со счетчиком связано другое автоматическое устройство, позволяющее в конце намотки секций, до обрыва листов диэлектрика и лент фольги, поворачивать траверсу с кронштейном *1* и оправкой *16* вокруг оси и перемещать оправку в переднее положение. Перемещение оправки дает возможность обеспечить необходимый запас длины пучка листов диэлектрика и лент фольги для заправки новой секции без применения физических усилий намотчицы.

Ленты фольги после намотки секций обрывают путем их натяжения вследствие поворота рулонов в обратную сторону при помощи специального приспособления *7* педалью *19*. Затем в просветах, образовавшихся после обрыва лент фольги, обрывают (обрезают) листы диэлектрика. Чтобы удержать обрезанные листы диэлектрика и ленты фольги от смещения, на станке предусмотрено прижимное устройство.

Намоточная оправка выполнена из двух разжимных полуцилиндрических частей, удерживаемых откидным

кронштейном. Для снятия готовых секций кронштейн с помощью рукоятки *17* отводят в сторону, оба полых полуцилиндра сжимаются за счет промежутка между ними, и секцию легко снимают с оправки.

На намоточном станке предусмотрен и ряд других приспособлений: механизм для автоматической остановки станка при обрыве фольги в процессе намотки секций, устройство *2* для автоматической укладки токоподводов в секцию, механизм подачи которых включается выключателем *11*, счетчик, позволяющий контролировать длину сматываемой фольги и определять емкость секции, и др.

Техническая характеристика станка СНК-18

Количество шпинделей для бобин, шт.	16
Количество шпинделей для рулонов фольги, шт.	2
Наибольшая ширина секции, мм	280
Частота вращения оправки, об/мин	350
Мощность электродвигателя, кВт	1,7
Частота вращения электродвигателя, об/мин	960

Устройство станков других типов, применяемых для намотки секций, аналогично устройству станка СНК-18. Отличия заключаются главным образом в количестве шпинделей для бобин диэлектрика, их расположении на станке, а также в длине шпинделей, допускающих намотку секций из диэлектрика определенной ширины. Обычно намоточные станки имеют от 6 до 20 шпинделей для бобин диэлектрика шириной от 120 до 600 мм. Станки могут отличаться наличием и конструкцией различных вспомогательных приспособлений.

В настоящее время проходят испытания полностью автоматизированные намоточные станки, которые позволяют поднять производительность и улучшить качество намотки секций.

§ 26. Технология намотки секций

Конденсаторные секции в зависимости от типа конденсатора изготовляют двух видов: со скрытой и с выступающей фольгой. Ширина диэлектрика в секциях обычно принимается несколько больше ширины фольги.

При намотке секций со скрытой фольгой (рис. 30) ленты фольги располагают посередине листов диэлектрика *3* так, чтобы они отступали от его краев на равные расстояния, образуя закраины *2*.

В случае намотки секций с выступающей фольгой (рис. 31) ленты фольги сдвигают к противоположным торцам секции. Фольга с каждого торца секции выступает на 2,5 мм от краев диэлектрика *3*, благодаря чему можно замыкать накоротко все витки фольги с торцовых сторон секции. Каждая лента фольги, сдвинутая одним краем к торцу секции, другим краем отступает от края диэлектрика внутрь секции, также образуя закраину *2*.

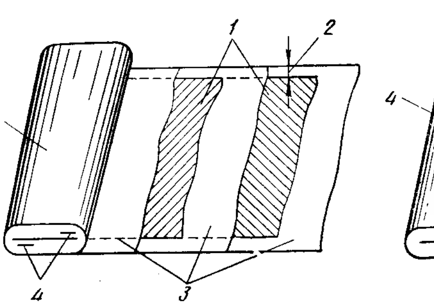


Рис. 30. Секция со скрытой фольгой:

1 — обкладка, *2* — закраина, *3* — диэлектрик, *4* — токопроводы, *5* — секция

Рис. 31. Секция с выступающей фольгой:

1 — обкладка, *2* — закраина, *3* — диэлектрик, *4* — секция

В секциях со скрытой фольгой предусмотрена укладка на каждую ленту фольги токоподводов для электрического соединения секций в пакете конденсатора. Электрическое соединение секций с выступающей фольгой осуществляют без токоподводов перепайкой фольги, выступающей с торцов секций.

Намотка конденсаторных секций является первой операцией в процессе производства конденсаторов. Перед началом намотки намотчица должна ознакомиться с чертежом и техническими данными заданной для намотки секции, подготовить станок и рабочее место, проверить наличие и качество исходных материалов, заправить и отрегулировать станок.

Чертеж и технические данные секции содержат все необходимые сведения для намотки секций того или иного типа конденсатора. В технических данных указаны плотность и размеры конденсаторной бумаги, размеры фольги, диаметр намоточной оправки, количество листов бумаги и пленки между обкладками, число вит-

ков и др. Чертеж содержит габаритные и другие размеры секции и указывает расположение токоподводов для секций со скрытой фольгой. В технических данных обычно приводят несколько вариантов расчета секции на различные толщины и плотности конденсаторной бумаги и пленки. В качестве примера на рис. 32 приведены чертеж и технические данные секции конденсатора КС2-6,3-75-2У3, а на рис. 33 — конденсатора ЭСВ-0,5-2, 4-4У3.

П о д г о т о в к а с т а н к а заключается в выборе и установке намоточной оправки, регулировке счетчика числа витков, проверке плавности пуска станка, проверке приспособления для обрыва фольги и автоматического устройства для поворота траверсы с оправкой.

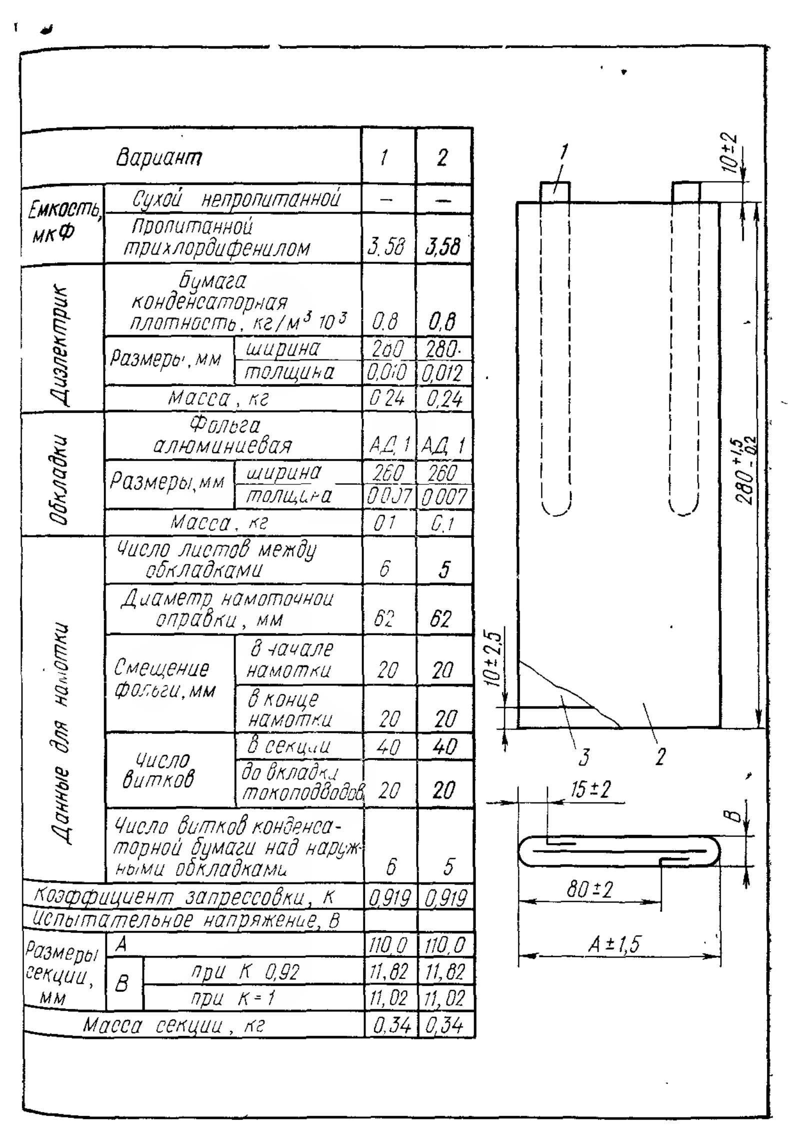
Оправку, выбранную в соответствии с техническими данными, закрепляют на рабочем шпинделе, после чего проверяют правильность ее установки. При правильной установке свободный конец оправки плавно входит в гнездо откидного кронштейна. Биение оправки не допускается.

Регулировка счетчика на остановку станка при достижении заданного числа витков оправки до укладки токоподводов (при намотке секций со скрытой фольгой) и в конце намотки секции производится соответствующей установкой кулачков указателя числа витков на планке (или диске) счетчика. Правильность установки указателей числа витков проверяют переносным контрольным счетчиком, который при пуске станка подключают к вращающемуся рабочему шпинделю. Одновременно с регулировкой счетчика проверяют автоматическое устройство для поворота траверсы с оправкой, которое должно срабатывать в момент остановки станка в конце намотки секции.

Плавность пуска станка проверяют руками, создавая усилие на оправке в момент пуска. Частота вращения оправки должна возрастать плавно, без рывков.

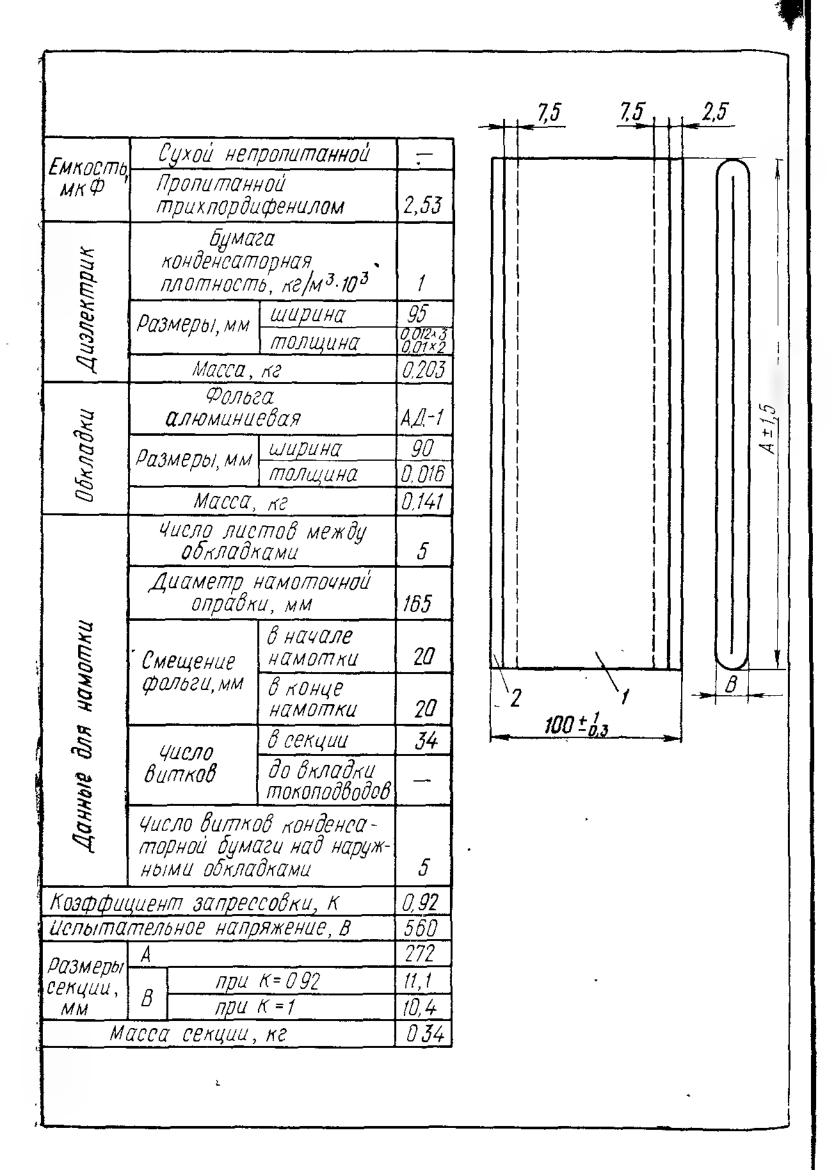
Приспособление для обрыва фольги проверяют нажатием на его педаль. При этом шпиндели для рулонов фольги должны повернуться по часовой стрелке на заданный угол. Неисправности станка устраняет наладчик.

Для **п о д г о т о в к и р а б о ч е г о м е с т а** необходимо:



Вариант			1	2
Емкость, мкФ	Сухой непропитанной		—	—
	Пропитанной трихлордифенилом		3,58	3,58
Диэлектрик	Бумага конденсаторная плотность, кг/м³ 10³		0,8	0,8
	Размеры, мм	ширина	260	280
		толщина	0,010	0,012
	Масса, кг		0,24	0,24
Обкладки	Фольга алюминиевая		АД 1	АД 1
	Размеры, мм	ширина	260	260
		толщина	0,007	0,007
	Масса, кг		0,1	0,1
Данные для намотки	Число листов между обкладками		6	5
	Диаметр намоточной оправки, мм		62	62
	Смещение фольги, мм	в начале намотки	20	20
		в конце намотки	20	20
	Число витков	в секции	40	40
		до вкладки токоподводов	20	20
	Число витков конденсаторной бумаги над наружными обкладками		6	5
Коэффициент запрессовки, К			0,919	0,919
Испытательное напряжение, В				
Размеры секции, мм	A		110,0	110,0
	B	при К 0,92	11,82	11,82
		при К = 1	11,02	11,02
Масса секции, кг			0,34	0,34

Рис. 32. Чертеж и технические данные секции конденсатора КС2-6,3-75-2У3:
1 — токоподводы, 2 — диэлектрик, 3 — обкладка



Емкость, мкФ	Сухой непропитанной		—
	Пропитанной трихлордифенилом		2,53
Диэлектрик	Бумага конденсаторная плотность, кг/м$^3 \cdot 10^3$		1
	Размеры, мм	ширина	95
		толщина	0,012×3 0,01×2
	Масса, кг		0,203
Обкладки	Фольга алюминиевая		АД-1
	Размеры, мм	ширина	90
		толщина	0,016
	Масса, кг		0,141
Данные для намотки	Число листов между обкладками		5
	Диаметр намоточной оправки, мм		165
	Смещение фольги, мм	в начале намотки	20
		в конце намотки	20
	Число витков	в секции	34
		до вкладки токоподводов	—
	Число витков конденсаторной бумаги над наружными обкладками		5
Коэффициент запрессовки, К			0,92
Испытательное напряжение, В			560
Размеры секции, мм	А		272
	В	при К=0,92	11,1
		при К=1	10,4
Масса секции, кг			0,34

Рис. 33. Чертеж и технические данные секции конденсатора ЭСВ-0,5-2,4-4УЗ:

1 — диэлектрик, 2 — обкладка

протереть станок и рабочий стол чистой ветошью;

получить и проверить токоподводы, которые должны иметь равномерную полуду и ровную — без заусенцев, гофр и кривизны кромок — поверхность, а также должны находиться в специальной таре, защищающей их от механических повреждений;

получить клей для заклейки секций (применяют конторский силикатный);

получить и подготовить кассеты для укладки секций;

подготовить штемпель для маркировки секций, установив на нем шифр намотчицы, число витков в секции, номер партии бумаги и пленки;

получить и проверить бобины конденсаторной бумаги, пленки и рулоны фольги, которые с торцовых сторон не должны иметь забоин, вмятин и загрязнений (втулки бобин должны быть цилиндрическими).

Все рулоны фольги и бобины диэлектрика должны быть одной партии поставки, что проверяют по наклеенным этикеткам. Кроме того, номер партии указывается с торцовой стороны бобин. Конденсаторная бумага, пленка и алюминиевая фольга должны строго соответствовать техническим данным наматываемых секций. Во избежание механических повреждений и загрязнений бобины у станка размещают на поддоне, а рулоны фольги — на мягкой прокладке или в специальной деревянной таре. После транспортировки с материального склада (в особенности со склада, не отапливаемого в зимних условиях) рулоны фольги и бобины диэлектрика необходимо выдерживать перед намоткой секций в распакованном виде не менее 8—10 ч при температуре цеха.

З а п р а в к а   с т а н к а производится после подготовки его и рабочего места. Бобины диэлектрика и рулоны фольги устанавливают на соответствующие шпиндели станка и закрепляют конусными гайками. Количество бобин диэлектрика должно быть равно удвоенному числу листов между обкладками в секции. Для наиболее экономного расходования бумаги и пленки и качественной намотки секций под нижней фольгой необходимо располагать возможно меньше листов диэлектрика. Над верхней фольгой помещают остальные листы до заданного количества.

Бобины устанавливают с таким расчетом, чтобы после заправки диэлектрика и фольги на оправку одна

половина всех листов диэлектрика располагалась между обеими лентами фольги, а другая — над верхней и под нижней лентами. Существующие станки при намотке секций с шестью листами диэлектрика между обкладками и менее позволяют располагать под нижней фольгой два листа диэлектрика, а при намотке секций с большим количеством листов — три листа и более. Рулоны фольги должны быть одного диаметра для обеспечения одинаковых просветов при обрыве лент фольги в конце намотки секции.

Листы диэлектрика и ленты фольги выводят через направляющие ролики к оправке и проверяют правильность установки бобин диэлектрика и рулонов фольги. Смещением отдельных шпинделей в осевых направлениях устраняют разбег листов диэлектрика и устанавливают заданное по чертежу смещение лент фольги по закраине. Смещение верхней ленты фольги проверяют наложением пучка листов диэлектрика и лент фольги на оправку, а нижней — перегибом пучка на оправке. Чтобы не образовалось поперечных складок при намотке секций, следует с помощью тормозов отрегулировать одинаковое натяжение листов диэлектрика.

Намотку секций начинают с выравнивания концов пучка листов диэлектрика и лент фольги и подтягивания за оправку с таким расчетом, чтобы их можно было обернуть вокруг оправки 1—1,5 раза. Концы лент фольги должны отступать от края диэлектрика на 30—50 мм, чтобы они не могли соединиться между собой. Обернув пучок листов диэлектрика и лент фольги вокруг оправки и придерживая его руками, плавно нажимают ногой на педаль пуска станка и медленно наматывают 2—3 оборота. Далее на быстрых оборотах наматывают необходимое количество витков до автоматической остановки станка для укладки токоподводов. Токоподводы укладывают в соответствии с чертежом секции на верхнюю и нижнюю ленты фольги, располагая их или с одной торцовой стороны секции, или с обеих ее сторон.

После укладки токоподводов намотку продолжают до автоматической остановки станка, а в момент остановки автоматическое устройство перемещает оправку в переднее положение (в сторону намотчицы). Затем, нажимая пальцами рук на сходящийся у оправки пучок листов диэлектрика и лент фольги и одновременно поворачивая оба рулона фольги в обратную сторону (нажатием на педаль приспособления), разрывают ленты фольги. В местах разрыва образуются просветы не более 100 мм, в которых производят ровный обрыв (отрезку) листов диэлектрика, за исключением верхнего.

Верхним листом на секцию дополнительно наматывают столько витков, сколько листов диэлектрика находится под нижней фольгой, что необходимо для защиты

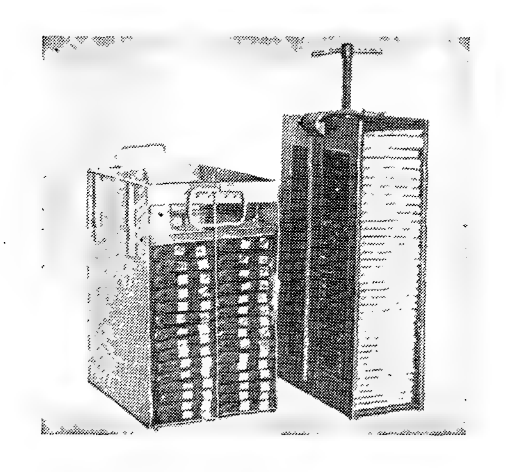


Рис. 34. Кассеты для укладки секций

секций от механических повреждений и межсекционного пробоя в пакетах конденсаторов. Оборвав верхний лист диэлектрика, заклеивают секцию клеем во избежание ее размотки. Затем, отведя удерживающий оправку кронштейн в сторону, снимают секцию с оправки и придают ей плоскую форму. В момент отвода кронштейна счетчик числа витков и оправка автоматически возвращаются в исходное рабочее положение.

Токоподводы в секции выравнивают, концы их прижимают к торцам секции, секции маркируют. Первую секцию проверяют контролер ОТК и мастер, которые дают разрешение продолжать намотку. Контрольная секция должна храниться до конца смены.

Для намотки следующей секции оправку закрепляют откидным кронштейном, и далее все действия повторяются. Намотанные секции укладывают в кассеты (рис. 34).

Особенность намотки пленочных и бумажно-пленочных секций заключается в том, что в процессе намотки происходит электризация пленок. Наэлектризованная пленка притягивает частички пыли из воздуха, которые плотно пристают к поверхности пленок и могут явиться причиной пробоя диэлектрика. Поэтому должны приниматься дополнительные меры по нейтрализации зарядов и полному обеспыливанию помещений.

В некоторых типах высоковольтных конденсаторов предусмотрены внутрисекционные прокладки из нескольких листов кабельной бумаги или электрокартона, которые со стороны токоподводов выступают из торца секции и предназначены для создания барьера, предотвращающего возможное перекрытие (пробой) между токоподводами секции. Кроме того, внутрисекционные прокладки уменьшают складкообразование и таким образом улучшают качество секций.

Ширину прокладок определяют диаметром намоточной оправки, что составляет половину длины ее окружности. Прокладку размещают в секции в начале намотки, накладывая на намоточную оправку, после чего намотка производится обычным способом.

Намотка секций с выступающей фольгой ничем не отличается от намотки секций со скрытой фольгой, отсутствуют лишь операции, связанные с укладкой токоподводов. Поэтому намотка от начала до конца производится без остановки станка.

В процессе намотки наиболее часто возникают следующие дефекты секций: обрыв фольги и диэлектрика, смещение лент фольги относительно друг друга и относительно торцов секции, разбег листов диэлектрика, неправильная укладка токоподводов и их смещение в секции, короткое замыкание обкладок в начале и конце намотки секций, недомотка и перемотка числа витков, образование складок диэлектрика и фольги в секции, механическое повреждение листов диэлектрика и т. д. Поэтому намотчица в процессе намотки должна быть внимательна, своевременно обнаруживать и устранять причины, вызывающие дефекты секций.

Обрыв фольги и диэлектрика происходит при неплавном пуске станка или из-за дефектов в материалах. Обрыв листов диэлектрика приводит к уменьшению толщины диэлектрика между обкладками и пробивного напряжения секции. При обрыве фольги уменьшается

емкость секции. При разрыве фольги с незначительным просветом (до 1—2 мм) неизбежен пробой секции во время контрольных испытаний конденсаторов в результате появления разрядов в месте разрыва.

В процессе намотки секций обрыв фольги и диэлектрика устраняют следующим образом: станок останавливают, концы оборванного листа приближают к оправке и перекрывают их внахлестку на 50 мм, придерживая пальцами рук пучок листов в месте нахлестки, плавно пускают станок и продолжают намотку. Если обрыв обнаруживают несвоевременно и устранить его невозможно, секцию снимают с оправки и сдают отдельно как брак.

Смещение лент фольги относительно друг друга и относительно торцов секции, а также разбег листов диэлектрика происходят из-за неточного расположения рулонов фольги и бобин диэлектрика на шпинделях станка. Указанные дефекты уменьшают емкость секции, снижают ее электрическую прочность и вызывают пробои по закраине.

Неправильная укладка токоподводов и их смещение в секции являются результатом невнимательной работы намотчицы. Укладка обоих токоподводов на одну ленту фольги вызывает короткое замыкание секции, а в готовом конденсаторе — группы секций или всего конденсатора. Укладка токоподводов между листами диэлектрика приводит к потере емкости в секции и конденсаторе. Смещение токоподводов затрудняет пайку схемы соединения секций в пакете, а если токоподводы расположены на изгибе секции, вызывает механическое повреждение диэлектрика между обкладками, в результате чего происходит пробой секции в конденсаторе.

Короткое замыкание лент фольги в начале и конце намотки секции также происходит из-за небрежной работы намотчицы при заправке пучка листов диэлектрика и лент фольги на оправку и при обрыве фольги и диэлектрика в конце намотки. Недомотка и перемотка числа витков в секции объясняются неточной регулировкой счетчика витков, а недомотка, кроме того, и проскальзыванием намоточной оправки в начале намотки при отсутствии фиксирующей планки на оправке. Недомотка или перемотка числа витков в секции приводит соответственно к заниженной или завышенной емкости конденсатора. В отдельных случаях при последователь-

ном соединении секций в пакетах недомотка и перемотка вызывают неравномерное распределение напряжения (при разной емкости секций) в конденсаторе, в результате чего сокращается срок его службы.

Образование складок в секции зависит от многих причин. Поперечные складки вызываются неправильной (неодинаковой) регулировкой натяжения лент фольги и листов диэлектрика. Продольные складки образуются при нарушении параллельности шпинделей для бобин диэлектрика и рулонов фольги как друг другу, так и рабочему шпинделю с оправкой. В этом случае необходимо выверить параллельность шпинделей станка. Образование складок уменьшает емкость секций, снижает их электрическую прочность и напряжение возникновения частичных разрядов.

Механические повреждения диэлектрика в процессе намотки обычно происходят из-за попадания в секцию твердых частиц (песчинок, угольной пыли), применения некачественных токоподводов (с заусенцами), а также из-за небрежного обращения с секциями. Механические повреждения, как правило, приводят к снижению электрической прочности секции и ее пробою.

Кассеты для укладки секций защищают их от механических повреждений при хранении. Кроме того, в кассетах можно производить предварительную подпрессовку секций, предотвращающую их неравномерное высыхание и образование складок при запрессовке в пакеты. При хранении секций без кассет верхние слои бумаги в секции высыхают быстрее и стягивают внутренние слои, в результате происходит коробление (вспучивание) секции с образованием складок. Запрессовка таких секций в пакеты до заданных размеров связана с большими трудностями и обычно приводит к механическим повреждениям диэлектрика, вследствие которых появляется брак при испытаниях и резко снижается качество конденсаторов в эксплуатации.

§ 27. Сборка и запрессовка секций в пакеты

После намотки запрессовка секций в пакеты является второй основной технологической операцией при изготовлении силовых конденсаторов. Необходимое для данного конденсатора количество секций набирают в колонку, которую механически сжимают до заданных размеров и закрепляют хомутами или изоляционными планками для сохранения размеров и формы. Степень сжатия секций задается при расчете конденсатора и характеризуется коэффициентом запрессовки, который указывается в технических данных секции.

Оборудование, применяемое для запрессовки секций в пакеты. Запрессовка секций производится на специальных винтовых механических прессах Ф003. Винтовой пресс (рис. 35) состоит из чугунной станины *1* в виде коробки, на которой смонтированы две стальные пустотелые колонны *4*, связанные вверху траверсой *5*. Между колоннами расположены неподвижный рабочий стол *2* и подвижный стол *3*. Неподвижный стол укреплен непосредственно на станине, а подвижный механически связан с ходовым винтом *6*, при помощи которого он может передвигаться по колоннам вверх и вниз. От смещения относительно колонн стол удерживается роликами *7*.

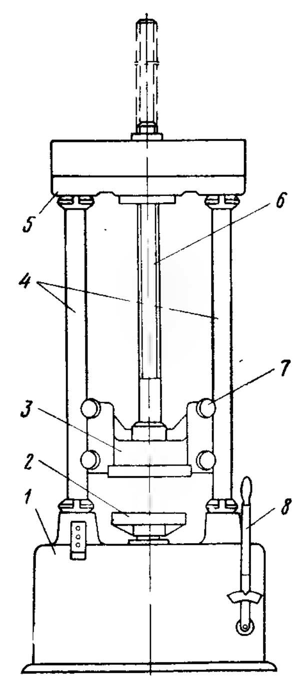


Рис. 35. Винтовой пресс для запрессовки секций в пакеты

Перемещение ходового винта *6* осуществляется от гайки, расположенной в траверсе, при помощи вертикального вала, проходящего внутри левой колонны, и коробки скоростей, которая приводится в движение асинхронным электродвигателем трехфазного тока. Электродвигатель и коробка скоростей размещены внутри станины.

Подвижный стол пресса имеет две скорости перемещения — 0,5 и 1,5 м/мин как в рабочем направлении — вниз, так и в обратном направлении — вверх. Для изменения скорости движения стола переключают коническую муфту коробки скоростей рычагом управления *8*. Чтобы изменить направление движения стола, меняют направление вращения двигателя, нажимая

кнопки управления «Вверх», «Стоп», «Вниз», укрепленные на станине.

Во избежание аварий на прессе предусмотрены два конечных выключателя, ограничивающих ход подвижного стола как в нижнем, так и в верхнем положениях. Максимальное усилие, развиваемое прессом, составляет 35 кН. Максимальный ход подвижного стола 1200 мм. Максимальное и минимальное расстояния между подвижным и неподвижным столами соответственно составляют 1470 и 270 мм.

При запрессовке секций в пакеты для некоторых конденсаторов применяют специальные приспособления, позволяющие производить запрессовку одного или сразу двух пакетов. Приспособление, укрепляемое в пазах нижнего стола, представляет собой две или три вертикальные стальные щеки, которые служат для ограничения смещения секций в колонке при их сборке и сжатии. Приспособление, укрепляемое в пазах подвижного стола, состоит из одной или двух полых труб с площадками на концах и служит для передачи усилия подвижного стола непосредственно колонкам секций.

Детали, применяемые для сборки пакетов. При сборке секций и запрессовке их в пакеты применяют ряд деталей. Основными из них являются: стяжные щеки и хомуты; скрепляющие планки; изоляционные прокладки под щеку, на дно корпуса, между секциями, между группами секций и под отводы; изоляционная обертка; предохранители (см. § 15).

Стяжные щеки служат для создания жесткости конструкции пакета и предохранения крайних его секций от механических повреждений. Щеки обычно штампуют из листовой стали толщиной 1,5—2 мм. В отдельных случаях применяют плоские щеки из гетинакса толщиной 10 мм и из листовой стали или электрокартона толщиной 2—3 мм.

Стяжные хомуты и скрепляющие планки применяют для закрепления секций в пакете в запрессованном виде. Хомуты изготовляют из полос листовой стали толщиной 1 мм путем гибки и точечной сварки концов, а также из полос электрокартона. Планки выполняют из листового гетинакса толщиной 8—10 мм.

Изоляционные прокладки предназначены для электрической защиты отдельных секций и их групп друг от друга, а также от металлических частей пакета

и корпуса конденсатора. В пакетах конденсаторов, которые имеют секционные предохранители, межсекционные прокладки, выступая над торцами секций, одновременно обеспечивают механическую защиту предохранителей друг от друга в случае их перегорания. Изоляционные прокладки под отводы служат для закрепления отводов пакета конденсатора. Прокладки изготовляют из электрокартона толщиной 0,5—2 мм или из определенного количества листов кабельной бумаги ножницами или штамповкой.

Изоляционная обертка, используемая для электрической защиты секций пакета конденсатора от корпуса, состоит из двух половин и изготовляется из кабельной бумаги кантовкой. В зависимости от класса изоляции, на который рассчитан конденсатор, обертка набирается из определенного числа листов. В отдельных случаях обертку выполняют из электрокартона толщиной 0,5 мм.

Подготовка оборудования и деталей для запрессовки пакетов. Перед запрессовкой секций сборщик пакетов должен ознакомиться с чертежом пакета, подлежащего сборке, подготовить пресс и рабочее место, проверить наличие и качество деталей, необходимых для сборки.

На чертеже пакета указаны все необходимые данные для его сборки: количество секций, их расположение и разбивка по группам в пакете, количество и размеры межсекционных и межгрупповых изоляционных прокладок, расположение отводов, вид изоляции пакета от корпуса, способ закрепления пакета при запрессовке и т. д.

Подготовка пресса состоит в том, что до его пуска необходимо произвести тщательный наружный осмотр всех механизмов и мест смазки. Необходимо также удалить все посторонние предметы с рабочего стола пресса и из зоны рабочего места и протереть пресс. После этого пресс проверяют на холостом ходу, поднимая и опуская подвижный стол.

Перед включением пресса рычаг управления должен находиться в нейтральном положении. Для подъема подвижного стола нажимают кнопку пуска двигателя «Вверх» и рычаг управления из нейтрального положения переводят по направлению от себя (ускоренный ход). При достижении столом некоторой высоты рычаг управления снова переводят в нейтральное положение

и стол останавливается. Нажимая кнопку «Стоп», выключают двигатель.

Чтобы опустить подвижный стол, нажимают кнопку пуска двигателя «Вниз» и рычаг управления из нейтрального положения переводят по направлению от себя. Опустив стол вниз на некоторую высоту, рычаг управления переводят в нейтральное положение и стол останавливается. Нажимая кнопку «Стоп», выключают двигатель.

Аналогично проверяют пресс при замедленном ходе стола. Для этого после нажатия кнопки пуска двигателя «Вверх» или «Вниз» рычаг управления переводят из нейтрального положения по направлению к себе. Поднимая или опуская подвижный стол соответственно в верхнее или нижнее крайние положения, проверяют срабатывание конечных выключателей. При достижении крайних положений пресс автоматически должен останавливаться.

Во время управления прессом необходимо постоянно соблюдать следующее правило: при движении стола правая рука прессовщика (сборщика пакетов), которому поручено управление прессом, должна находиться на рычаге управления, а левая — на кнопке «Стоп», чтобы можно было в любой момент выключить пресс. После проверки пресса на холостом ходу в случае необходимости на нем закрепляют приспособление для запрессовки секций.

Получив в соответствии с чертежом нужное количество изоляционных и крепежных деталей, сборщик пакетов должен проверить их качество. Детали должны быть чистыми, незапыленными и без следов смазки. Чистоту деталей проверяют внешним осмотром. На рабочем месте детали располагают на предварительно протертых столах в порядке, удобном для сборки пакетов конденсаторов.

Секции для запрессовки в пакеты подаются на рабочее место по мере необходимости в кассетах или из-под пресса после их предварительной подпрессовки. В один пакет следует подбирать секции, изготовленные одной намотчицей.

Предварительная подпрессовка секций. Перед запрессовкой в пакеты секции обычно подвергают так называемой предварительной подпрессовке в течение нескольких (2—4) часов. Предварительная подпрессовка

в значительной степени облегчает сборку секций в колонки и их запрессовку в пакеты. Подпрессовку секций производят на гидравлических прессах. Секции сжимают до заданного давления, величину которого контролируют по манометру.

С течением времени секции под прессом уплотняются и давление снижается. Поэтому необходимо периодически включением пресса доводить давление до заданного значения.

Технология сборки и запрессовки пакетов конденсаторов. По особенностям технологии сборки и запрессовки пакеты всех типов конденсаторов в зависимости от конструкции могут быть разделены на три группы:

пакеты, которые имеют изоляцию от корпуса и закрепляются стяжными хомутами;

пакеты, которые не имеют изоляции от корпуса и закрепляются изоляционными скрепляющими планками;

пакеты конденсаторов с водяным охлаждением.

Сборку и запрессовку пакетов конденсаторов первой группы производят следующим образом. В приспособление, укрепленное на нижнем столе пресса, укладывают стяжную щеку, затем прокладку. На прокладку помещают одну половину изоляционной обертки, которую располагают так, чтобы изгибы ее кантовки совпадали с краем щеки. Внутрь обертки поочередно укладывают секции, прокладки между секциями и между группами секций.

Секции, токоподводы которых расположены с одной торцовой стороны, укладывают в колонку так, чтобы токоподводы всех секций были обращены в одну сторону. Уложив заданное по чертежу количество секций, выравнивают их в колонке, чтобы избежать смещения секций относительно друг друга. На выровненную колонку секций укладывают вторую половину изоляционной обертки, прокладку и щеку. По окончании сборки пакета секций производят запрессовку. Пакет сжимают до размеров стяжного хомута. В процессе сжатия концы верхней и нижней половин изоляционной обертки при помощи специальных прокладок разводят в стороны, что обеспечивает свободное перемещение верхней половины обертки относительно нижней. При правильной сборке пакета обе половины обертки должны перекрывать друг друга. На щеки сжатого пакета с обеих сторон надевают стяжные хомуты.

В пакетах конденсаторов I габарита с вертикальным расположением секций в корпусе после установки стяжных хомутов выступающую часть обертки со стороны, противоположной токоподводам, загибают по кантовке к торцам секций.

По окончании запрессовки подвижный стол пресса возвращают в верхнее исходное положение, запрессованный пакет снимают с пресса и устанавливают на поддон или на конвейерную ленту.

Если пакеты собирают из секций, не прошедших предварительной подпрессовки на гидравлическом прессе, секции перед укладкой верхней половины обертки и щеки предварительно сжимают до размеров пакета. Во избежание механических повреждений на верхнюю секцию колонки перед сжатием укладывают жесткую металлическую пластину по размеру секции. Предварительное сжатие позволяет уплотнить секции, уменьшить высоту колонки и облегчить дальнейшую сборку и запрессовку пакета.

Для конденсаторов I габарита собирают и прессуют, как правило, одновременно по два пакета, а для конденсаторов II габарита, количество секций в пакетах которых в 2—3 раза больше, по одному пакету. В соответствии с этим перед запрессовкой пакетов на пресс устанавливают одно- или двухместное приспособление.

В процессе сборки и запрессовки пакетов каждый из сборщиков выполняет определенные операции. Первый сборщик управляет прессом и обычно укладывает секции, второй размещает прокладки и другие детали пакета. Выравнивание секций в колонке они выполняют совместно. Наряду с укладкой секций в колонку непосредственно на прессе секции можно предварительно собирать в группы на отдельном столе и группами переносить в приспособление на прессе.

Сборку (рис. 36) и запрессовку пакетов конденсаторов второй группы в отличие от первой производят следующим образом. На отдельном рабочем столе к нижней стяжной щеке болтами (резьбовыми шпильками) и гайками привертывают скрепляющие планки (рис. 36, *а*), выполняющие роль направляющих и позволяющие собирать секции в пакеты вне пресса. В соответствии с чертежом на нижнюю щеку укладывают отвод, который в дальнейшем одним концом припаивают к токоподводу первой секции, а другим — к щеке. На отвод помещают прокладку под щеку, а затем поочередно секции, прокладки между секциями и между группами секций. После укладки необходимого количества секций колонку (рис. 36, *б*) переносят под пресс. На верхнюю секцию помещают прокладку, отвод и верхнюю щеку. Затем колонку секций сжимают до размеров скрепляющих планок и планки болтами и гайками скрепляют с верхней щекой. Подвижный стол отводят в верхнее исходное положение, и запрессованный пакет (рис. 36, *в*) снимают с пресса.

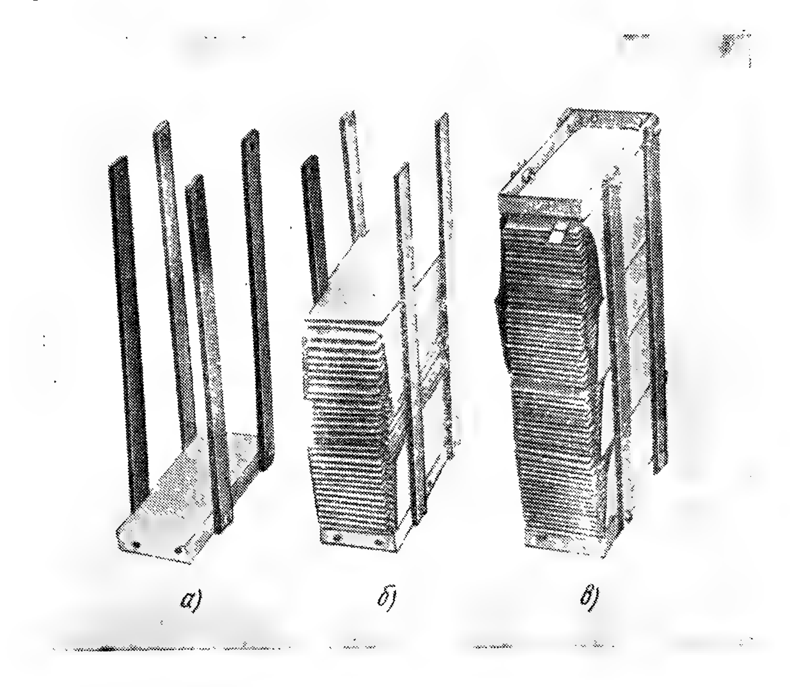


Рис. 36. Сборка пакетов конденсатора СМ166/$\sqrt{3}$-14У1:
а — скрепляющие планки с нижней щекой, *б* — колонка секций, *в* — пакет после запрессовки

Сборка (рис. 37, *а, б, в*) и запрессовка пакетов конденсаторов третьей группы аналогична сборке и запрессовке пакетов конденсаторов второй группы, но отличается лишь тем, что сборка секций в колонку на рабочем столе производится в специаль-

ные жесткие струбцины. Собранные в струбцине секции переносят на пресс. На колонку секций устанавливают крышку струбцины. После сжатия колонки секций крышку скрепляют замками с корпусом струбцины. Применяемые для сборки и запрессовки пакетов струбцины являются вспомогательными приспособлениями, которые перед установкой пакетов в корпуса снимают и используют для сборки новых пакетов.

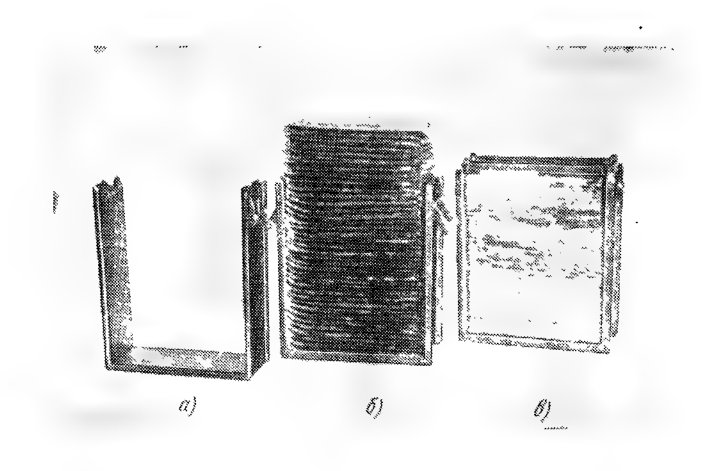


Рис. 37. Сборка пакетов конденсатора ЭСВ:
а — струбцина, *б* — колонка секций в струбцине, *в* — пакет после запрессовки

В процессе сборки и запрессовки пакетов могут возникать следующие дефекты: механические повреждения диэлектрика и алюминиевой фольги при выравнивании токоподводов в секциях, а также секций при сжатии и др.

При выравнивании токоподводов перемещение их в секции должно быть свободным по всей длине. Если перемещается только выступающая с торца секции часть токоподвода, на нем (внутри секции) образуются гофры, которые повреждают фольгу и диэлектрик при сжатии пакета секций. Поэтому не разрешается выравнивать токоподводы в секциях в запрессованном виде.

Механические повреждения секций при сжатии происходят в тех случаях, когда во время подпрессовки применяют нежесткую или не по размеру секции пластину, укладываемую сверху колонки секций, а также в результате прижимания колонки секций к одной из направляющих щек приспособления. В первом случае секции повреждаются из-за прогиба, во втором — из-за трения о щеку приспособления. Поэтому при сжатии секций необходимо применять жесткие соразмерные секциям пластины, а колонку секций не прижимать к направляющим щекам приспособления. Во избежание механических повреждений не допускается также сжатие колонки секций до размеров, превышающих размеры пакета.

§ 28. Электрические испытания пакетов

Запрессованные пакеты подвергают электрическим испытаниям, которые обычно проводят после их предварительной сушки. Эти испытания являются промежуточными, или межоперационными и служат для выявления и устранения дефектов, возникающих в секциях при их намотке и запрессовке в пакеты, а также дефектов в применяемых материалах. Кроме того, они позволяют определять причину и место возникновения дефектов и, следовательно, предупреждать их появление.

Электрические испытания пакетов не только позволяют избежать повышенного отхода готовых конденсаторов в брак при окончательных электрических испытаниях, но и дают возможность выявлять и устранять дефекты, которые не могут быть обнаружены при окончательных испытаниях, однако в значительной степени влияют на срок службы конденсаторов.

Для выявления дефектных секций в пакетах применяют два вида электрических испытаний: напряжением постоянного тока и измерением емкости.

Напряжением постоянного тока испытывают секции конденсаторов, работающих при высоких напряженностях электрического поля и не имеющих индивидуальной защиты плавкими предохранителями.

Испытания предназначены для выявления не только технологических дефектов, но и слабых мест диэлектрика. Поэтому их проводят при высоких напряженностях электрического поля, в отдельных случаях достигающих 25 В/мкм. Несмотря на повышенный отход секций в брак при испытаниях высоким напряжением целесообразность проведения таких испытаний оправдывается тре-

бованиями высокой надежности конденсаторов в эксплуатации.

Секции испытывают на специальной установке с применением обычной схемы однополупериодного выпрямления, которая позволяет получать напряжение постоянного тока, плавно меняющееся от 0 до 5 кВ. Установка представляет собой закрытую кабину, в которой расположены элементы схемы и испытательная камера. В соответствии с правилами техники безопасности в установке предусмотрены необходимая блокировка, сигнализация и другие виды защиты. Испытательное напряжение измеряют вольтметром, включенным непосредственно в цепь высокого напряжения. Дефектные секции (с электрическим пробоем) обнаруживают с помощью сигнальных ламп.

Для испытаний пакеты устанавливают на поддон и завозят в испытательную камеру кабины. Испытательное напряжение при помощи изоляционных штанг со специальными электродами на концах поочередно подают на токоподводы секций пакета. Разряд секций после испытаний осуществляется автоматически в момент снятия электродов с токоподводов. Помимо этого испытанные пакеты разряжают повторно вне камеры ручными разрядниками.

Испытание напряжением позволяет обнаруживать следующие дефекты секций:

замыкание обкладок в результате механических повреждений диэлектрика или небрежного начала и конца намотки;

расположение токоподводов на одной фольге или одного из них между листами диэлектрика;

ослабление диэлектрика между обкладками вследствие его частичного повреждения, а также образования складок;

ослабление диэлектрика между обкладками из-за совпадения токопроводящих частиц и слабых мест, обусловленных неоднородностью диэлектрика.

Однако испытания напряжением не позволяют обнаружить недомотку витков, сдвиг лент фольги относительно друг друга, обрывы лент фольги, перемотку витков, отсутствие отдельных листов диэлектрика, складки и другие дефекты, вызывающие заниженную или завышенную емкость секций. Все перечисленные дефекты обнаруживают измерением емкости секций в пакете.

Измерением емкости секций можно выявить и такие дефекты, как замыкание обкладок секций, расположение токоподводов на одной фольге или между листами диэлектрика, которые обнаруживают при испытании напряжением. Емкость секций измеряют методом амперметра — вольтметра или фарадометрами.

§ 29. Пайка схемы пакетов

Секции пакетов, прошедшие испытания, соединяют друг с другом по определенной схеме перепайкой токоподводов. В зависимости от типа конденсатора секции в пакетах соединяют параллельно, последовательно или смешанно.

Для перепайки токоподводов используют оловянно-свинцовый припой ПОССу30-2 или ПОССу40-2. Перепайку токоподводов пакетов конденсаторов, подлежащих пропитке хлорированными дифенилами, осуществляют без применения флюса. В этом случае используют водный раствор хлористого цинка лишь для очистки паяльника от нагара и загрязнений. Применение флюсов, особенно канифоли, для пайки схемы пакетов конденсаторов, пропитываемых хлорированными дифенилами, недопустимо, так как хлорированные дифенилы очень чувствительны к загрязнениям, резко ухудшающим электрические характеристики пропитанных конденсаторов. Перепайку токоподводов пакетов конденсаторов, подлежащих пропитке конденсаторным и касторовым маслом, производят с применением бескислотного флюса — канифоли.

Пайку схемы пакетов конденсаторов ЭСВ и ЭСВП, секции которых не имеют токоподводов, осуществляют также без применения флюсов припоями ПОЦ (оловянно-цинковым) и ПОССу61-05. Припой ПОЦ используют для облуживания и соединения выступающей с торцов секций фольги, а припой ПОССу61-05 — для припайки трубок водяного охлаждения. Характеристики припоев и флюсов приведены в § 14.

Основными деталями, которые применяют при пайке схемы пакетов, являются медные облуженные перемычки и шины, предназначенные для перепайки токоподводов при соединении секций в группы и групп секций в пакете, отводы, охлаждающие трубки конденсаторов

для электротермических установок, секционные плавкие предохранители и т. д.

Качество пайки пакетов во многом зависит от подготовки указанных деталей в механических цехах. Все детали, предназначенные для пайки схемы пакетов, должны быть тщательно облужены и промыты. Какие-либо загрязнения деталей после горячего лужения не допускаются.

Пайку схемы пакетов производят вручную электропаяльниками напряжением 36 В на специальных столах, оборудованных кабинами с вентиляционным отсосом. Для пайки крупногабаритных пакетов массой более 20 кг рабочие места оборудуют подъемными средствами (пневмоподъемниками или тельферами). Кроме того, для поворота пакетов, в которых токоподводы расположены с двух противоположных торцовых сторон, рабочие столы снабжают специальными пневмокантователями.

Перед началом пайки паяльщик должен ознакомиться с чертежом пакета и схемой соединения секций, получить материалы и детали и подготовить рабочее место.

Необходимые материалы, приспособления и детали (профилированные палочки припоя, ванночку с флюсом, электропаяльники и т. д.) располагают на рабочем месте в порядке, удобном для пайки пакетов. На рабочем месте не должно быть лишних предметов.

Электропаяльник включают в сеть и разогревают до температуры 270—350° С. Рабочую часть паяльника зачищают напильником и облуживают. Если припой тянется за паяльником, необходимо продолжить подогрев паяльника. Если припой не пристает к паяльнику и скатывается с него, паяльник следует охладить, положив на металлическую подставку. Способ ручной пайки очень прост. Качество и надежность ее в основном зависят от квалификации паяльщика.

Пайка схемы пакетов осуществляется в такой последовательности. Пакет укладывают на рабочем столе на одну из торцовых сторон так, чтобы токоподводы находились сверху. Необходимо следить, чтобы обертка корпусной изоляции пакета не повреждалась. Обертка с нижней торцовой части пакета должна быть уложена по изгибам кантовки и прижата к секциям. Обертку, выступающую над верхней торцовой частью пакета,

располагают таким образом, чтобы все токоподводы были доступны пайке.

Наиболее простой по технологии является пайка схемы пакетов с последовательным соединением секций (рис. 38, *а, б*). При пайке этой схемы облуженные концы токоподводов соседних секций поочередно выравнивают, укладывают друг на друга и прижимают к торцам секций. Место спая *3* токоподводов прогревают до полного гладкого покрытия припоем. Затем паяльник снимают, а место спая прижимают деревянной палочкой, которую не удаляют до полного затвердевания припоя. По окончании перепайки к токоподводам крайних секций также припаивают отводы *5* пакета. Остатки флюса и припоя после пайки удаляют чистой щеткой.

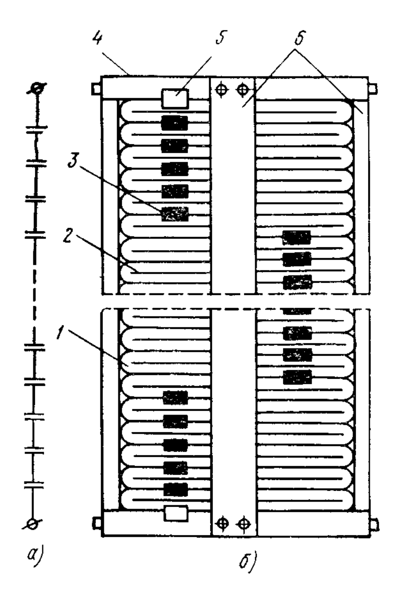


Рис. 38. Электрическая схема соединения (*а*) и схема пайки токоподводов при последовательном соединении секций в пакете:

1 — секция, *2* — внутрисекционная прокладка, *3* — спай токоподводов, *4* — стяжная щека, *5* — отвод, *6* — скрепляющие планки

Смешанное соединение секций в пакете (рис. 39, *а, б*) осуществляют при помощи перемычек *2*, к которым припаивают токоподводы групп секций. Перемычки в соответствии с чертежом укладывают на предварительно выровненные и прижатые к торцам секций концы токоподводов. Конец палочки припоя подносят к месту спая *5* и горячим паяльником поочередно припаивают токоподводы к перемычке. Место спая токоподвода с перемычкой каждый раз прогревают до полного растекания припоя. Сняв паяльник, место спая до затвердевания припоя плотно прижимают деревянной палочкой.

Чтобы ускорить остывание припоя, при пайке массивных шин и перемычек вместо деревянных палочек

часто применяют металлические (латунные или алюминиевые). После припайки токоподводов припаивают к крайним перемычкам (в соответствии с чертежом) отводы пакета.

Параллельное соединение секций в пакете осуществляют с помощью соединительных шин. При параллельном соединении токоподводы в секциях обычно располагают с двух противоположных торцов. Поэтому пайку схемы таких пакетов производят с двух торцовых

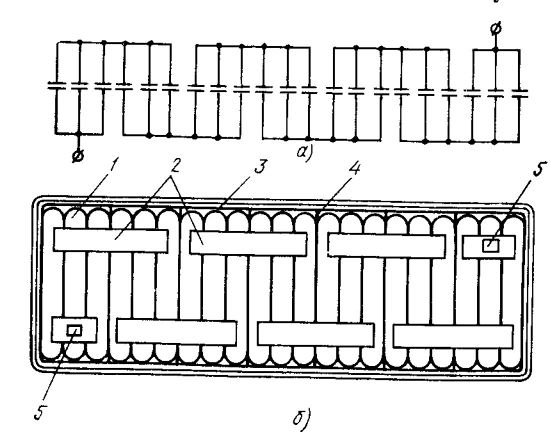


Рис. 39. Электрическая схема соединения (*а*) и схема пайки токоподводов (*б*) при смешанном соединении секций в пакете (конденсатор КС6,3):

1 — секция, *2* — перемычка, *3* — корпусная изоляция, *4* — изоляционная прокладка между группами, *5* — место для припайки отводов

сторон пакета. С одной торцовой стороны токоподводы всех секций пакета припаивают непосредственно к соединительной шине, свободный конец которой одновременно является отводом пакета. С другой торцовой стороны токоподводы всех секций припаивают к соединительной шине через секционные предохранители.

При пайке схемы пакета вначале припаивают токоподводы непосредственно к шине. Затем пакет переворачивают, в пазах межсекционных прокладок закрепляют соединительную шину, одновременно являющуюся вторым отводом пакета, и поочередно припаивают предохранители сначала к токоподводам, потом к шине; припой наносят паяльником.

Способ припайки токоподводов непосредственно к шине ничем не отличается от припайки токоподводов к перемычкам (параллельно-последовательное соединение). Однако, когда шины имеют значительную длину (пакеты конденсаторов II габарита), их во избежание смещения в нескольких местах предварительно прихватывают к токоподводам.

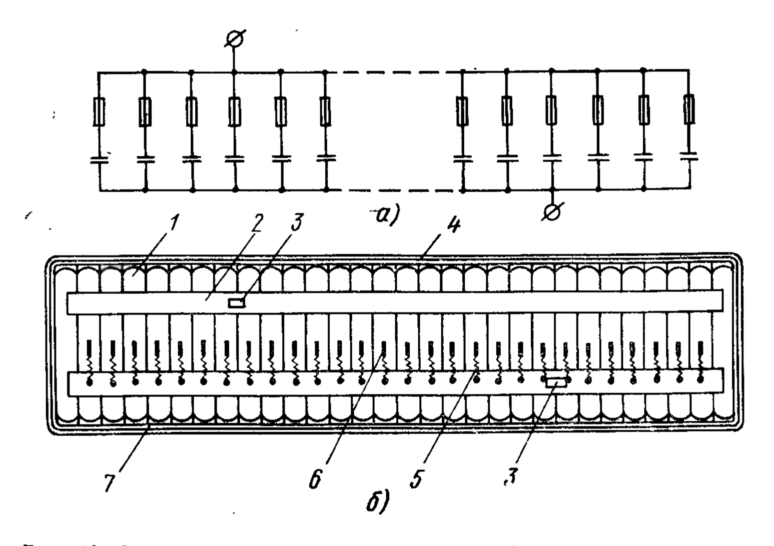


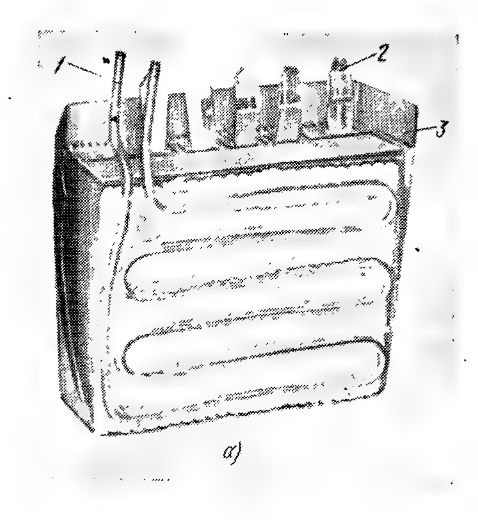
Рис. 40. Электрическая схема соединения (*а*) и схема пайки токоподводов (*б*) при параллельном соединении секций в пакете (конденсатор КС0,66 однофазный):

1 — секция, *2* — соединительная шина, *3* — место для припайки отвода, *4* — корпусная изоляция, *5* — предохранитель, *6* — токоподвод, *7* — межсекционная прокладка

При расположении токоподводов в секциях с одной торцовой стороны (рис. 40, *а*, *б*) последовательность пайки не отличается от вышеописанной.

Наиболее сложной по технологии является пайка схемы пакетов конденсаторов для электротермических установок. Сложность состоит в необходимости припайки деталей к алюминиевой фольге, выступающей из торцов секций.

С одной стороны пакета к выступающей из секций фольге припаивают выполненную в виде змеевика охлаждающую медную трубку *1* (рис. 41, *а*). Припайка этой трубки обеспечивает электрическое соединение



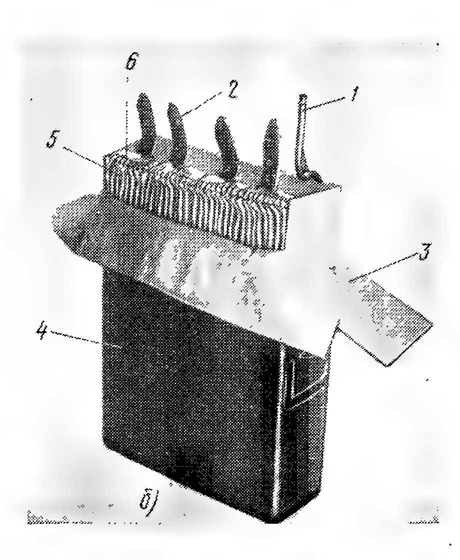


Рис. 41. Пакет конденсатора ЭСВ:
а — со стороны охлаждающей трубки, *б* — со стороны предохранителей; *1* — охлаждающая трубка, *2* — групповой отвод, *3* — обертка, *4* — корпус, *5* — пакет, *6* — предохранитель

друг с другом выступающих обкладок всех секций пакета *5* одной полярности. Кроме того, охлаждающая трубка, соединенная с корпусом *4*, является общим выводом конденсатора. С другой стороны пакета выступающую фольгу каждой секции в отдельности через предохранитель *6* по группам присоединяют к групповым изолированным от корпуса отводам *2* (рис. 41, *б*).

Пайку схемы пакетов производят после их предварительной сушки и электрических испытаний. Вначале припаивают охлаждающую трубку, а затем предохранители к секциям и групповым отводам. Перед пайкой пакеты и охлаждающие трубки разогревают до температуры 80—90° С в специальных термошкафах, что в значительной мере облегчает пайку и обеспечивает ее надежность.

Непосредственно перед припайкой трубок торец пакета облуживают цинковым припоем на специальном станке (рис. 42) механическим способом.

Перед пуском станка в ванну закладывают цинковый припой и разогревают его до температуры 300—360° С. Затем включают электродвигатель, и станок готов к работе.

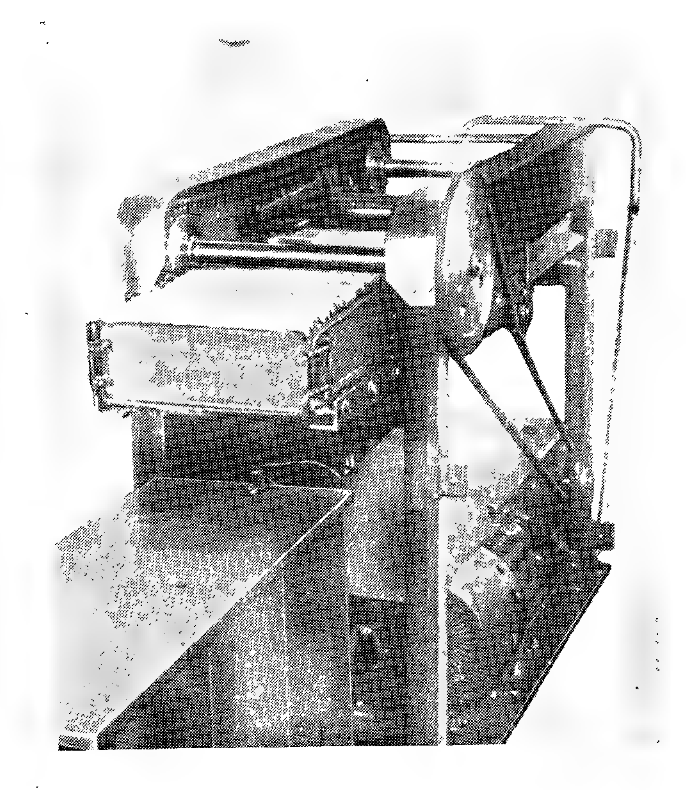


Рис. 42. Станок для механизированного облуживания торцов пакетов конденсаторов ЭСВ

Предварительно разогретый пакет укладывают поверхностью, подлежащей облуживанию, на направляющие станка. Перемещаясь под действием толкателя, пакет проходит между медным и прижимным валами. Медный вал, соприкасаясь с расплавленным припоем и вращаясь навстречу движению пакета, равномерным слоем наносит припой на выступающую с торцов секций фольгу. Облуженный пакет снимают с направляющих на противоположной стороне станка.

На облуженную поверхность пакета в соответствии с чертежом укладывают охлаждающую трубку. Чтобы трубка плотно прилегала к облуженной поверхности, ее сверху прижимают гетинаксовой планкой, а концы фиксируют шаблоном по отношению к струбцине пакета. Затем в нескольких местах трубку прихватывают оловянно-свинцовым припоем к поверхности пакета. Шаблон и прижимную планку снимают и после дополнительного выравнивания трубки деревянным молотком окончательно припаивают ее с двух сторон. Во время пайки припой должен заполнять все пространство между трубкой и поверхностью пакета. Особенно тщательно следует припаивать концы трубки, чтобы они не оторвались при дальнейшей сборке конденсатора. Трубку припаивают электропаяльником мощностью 500 Вт.

Для присоединения предохранителей к секциям выступающую фольгу в месте пайки сжимают и облуживают цинковым припоем. Затем производят поочередную припайку одних концов предохранителей оловянно-свинцовым припоем, а другие концы припаивают к групповым отводам обычным способом после сборки пакета в корпус.

После пайки каждый пакет подвергают испытаниям, позволяющим проверить правильность выполнения схемы, а также качество и надежность пайки. Качество пайки определяют внешним осмотром, а надежность — испытанием на отрыв. Правильность выполнения схемы проверяют внешним осмотром и испытанием групп секций и всего пакета на короткое замыкание, а также измерением емкости.

При пайке пакетов могут быть следующие виды брака: пропуски мест пайки; неправильное выполнение схемы; отставание токоподводов и предохранителей от шин и перемычек; замыкание обкладок в секции вследствие затекания припоя.

Пропуски мест пайки и неправильное выполнение схемы являются результатом невнимательной работы паяльщика.

Отставание токоподводов и предохранителей от шин и перемычек происходит как вследствие пайки недостаточно горячим паяльником, так и вследствие чрезмерного перегрева паяльника. В первом случае отставание объясняется невозможностью получить прочное сцепление деталей, во втором — тепло, исходящее в процессе

пайки от перегретого паяльника, расплавляет припой соседнего спая. Кроме того, отставание происходит при пайке плохо облуженных деталей.

Затекание припоя и вызываемое им замыкание обкладок в секциях чаще всего наблюдается при пайке пакетов, секции которых имеют выступающую фольгу. Затекание припоя происходит из-за плохой закатки фольги по торцу пакета.

Во всех рассмотренных случаях брак устраняют повторной пайкой и удалением кусочков затекшего припоя.

В настоящее время для соединения схем пакетов некоторых конденсаторов применяют вместо пайки припоями ультразвуковую сварку, которая состоит в том, что под действием энергии механических ультразвуковых колебаний, подводимых к местам сопряжения металлов, происходит повышение температуры в зоне их контакта, растрескивание твердых (оксидных) и выгорание жировых пленок, пластическая деформация металла, интенсивная диффузия, плавление и другие явления. В результате образуется неразъемное соединение металлов. Сварные соединения отличаются малым переходным сопротивлением и достаточной механической прочностью.

Получение механических колебаний ультразвуковой частоты основано на использовании физического явления магнитострикции, которое заключается в том, что некоторые ферромагнитные материалы (никель и его сплавы) при воздействии магнитного поля меняют свои линейные размеры.

Ультразвуковую сварку схем пакетов осуществляют на специальных сварочных машинах КТУ-1,5 (клещи точечные ультразвуковые мощностью 1,5 кВт), разработанных ВНИИЭСО. Сварочные машины (рис. 43) состоят из источника питания, аппаратуры управления сварочным циклом, механической колебательной системы и привода давления. Важнейшим элементом является механическая колебательная система, предназначенная для преобразования электрической энергии в энергию механических колебаний ультразвуковой частоты и передачи ее в зону сварки. Источником питания машины служит ультразвуковой генератор УЗГ5-1,6/22 мощностью 1,6 кВт и частотой 22 кГц.

Механическая колебательная система оформлена в виде головки, укрепленной на консоли и способной

перемещаться вертикально и горизонтально. Управляют машиной при помощи кнопки, расположенной в рукоятке головки.

Для сварки схемы пакет устанавливают на стол, свариваемые детали пакета (токоподводы, перемычки, шины) собирают в пучок и, подводя к нему головку, помещают его между опорой и сварочным наконечником.

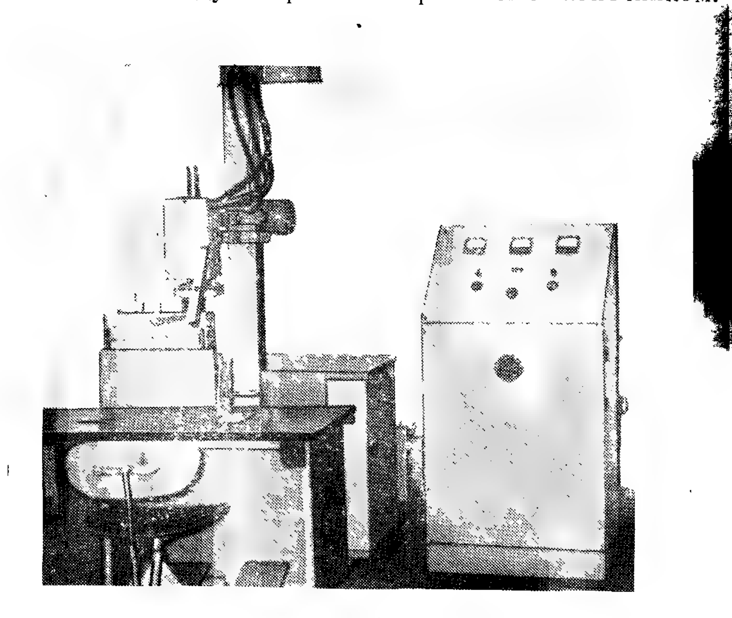


Рис. 43. Ультразвуковая сварочная машина КТУ-1,5

При нажатии кнопки детали зажимаются и происходит их сварка. Диаметр сварочного наконечника составляет 3—5 мм, длительность сварки 0,8 с, усилие сжатия свариваемых деталей 1,2 кН (120 кгс). Производительность машины 15—60 сварных точек в минуту.

При изготовлении некоторых типов конденсаторов ультразвуковая сварка позволяет полностью исключить применение дорогостоящих и дефицитных материалов (меди и припоя). Токоподводы, шины, перемычки из меди заменяют алюминиевыми. Одновременно повышается производительность труда.

§ 30. Гигиена при изготовлении пакетов конденсаторов

К изготовлению силовых конденсаторов предъявляют очень высокие требования в отношении производственной культуры, которые обусловлены применением большого количества бумажной и пленочной изоляции, постоянно находящейся под высоким электрическим потенциалом. Производственные условия должны исключать возможность попадания в конденсаторные секции каких-либо диссоциирующих загрязнений, которые могут оказывать решающее влияние на диэлектрические качества изоляции и срок службы конденсаторов. К вредным последствиям часто приводят даже очень небольшие загрязнения.

Из всех стадий изготовления силовых конденсаторов наиболее ответственными являются намотка конденсаторных секций и сборка их в пакеты, поскольку вся масса диэлектрика непосредственно соприкасается с окружающей средой. На данных стадиях производства высокие требования предъявляют не только к чистоте рабочего места, технологического оборудования, оснастки и деталей, но и к устройству помещений и личной гигиене работающих.

При изготовлении пакетов конденсаторов прежде всего необходимо обеспечить чистоту окружающего воздуха. Воздух в производственных помещениях не должен содержать взвешенных частиц пыли и копоти и быть загрязненным парами кислот и других веществ. В соответствии с принятыми технологическими регламентами запыленность помещений не должна превышать 300 пылинок в 1 дм^3.

Внутреннюю часть помещений тщательно изолируют от наружной атмосферы. Оконные проемы надежно уплотняют, а входные двери устраивают с тамбурами. В помещениях необходимо поддерживать безукоризненную чистоту. Во избежание попадания в секции и пакеты механических частиц со стен и потолков последние покрывают прочной влагостойкой краской и подвергают ежедневной влажной очистке.

Чистота воздуха зависит также от состояния полов. Поэтому очень важно, чтобы полы были гладкими, без швов и щелей, в которых легко может накапливаться пыль. Допускается только влажная уборка полов.

Современные помещения, в которых изготовляют пакеты конденсаторов, оборудуют специальными кондиционирующими установками для подачи очищенного, с определенной влажностью и температурой воздуха.

Чтобы предотвратить попадание пыли в помещение, давление кондиционированного воздуха в нем поддерживают несколько выше атмосферного.

Чистота воздуха в помещениях не может быть совершенной, если одновременно не поддерживается чистота территории, окружающей здания конденсаторного производства. Территория должна быть озеленена. В ее пределах и окрестностях атмосфера не должна содержать угольной пыли и вредных паров.

В процессе работы необходимо систематически следить за чистотой технологического оборудования и рабочих мест. Намотчицы должны постоянно заботиться о чистоте спецодежды, личной гигиене, прежде всего о чистоте рук, особенно при намотке секций для конденсаторов, пропитанных хлорированными дифенилами, так как даже небольшие следы пота и жира, которые могут оставаться на диэлектрике, ухудшают качество конденсаторов.

При намотке секций рекомендуется надевать перчатки или напальчники. Не разрешается прикасаться руками после их мытья к любым предметам, не связанным с выполнением необходимых операций.

Работники, занятые изготовлением пакетов конденсаторов, в своем рабочем помещении должны быть постоянно одеты в белые халаты. За пределами рабочего помещения пользоваться этими халатами не допускается. Посторонние лица перед входом в рабочее помещение, где изготовляют пакеты, должны надевать белые халаты и специальную обувь.

Приведенные требования по гигиене производства пакетов конденсаторов сводятся к соблюдению чистоты при всех операциях и устранению возможности попадания загрязнений внутрь диэлектрика. Эти требования должны быть хорошо известны всем работающим в конденсаторном производстве и в особенности тем, кто непосредственно занят изготовлением пакетов конденсаторов. Только при строгой дисциплине и точном выполнении правил гигиены конденсаторное производство может стоять на должной высоте.

Контрольные вопросы

1. Как устроен намоточный станок?
2. Каков порядок намотки секций?
3. Укажите причины, вызывающие дефекты секций при намотке.
4. Как устроен механический пресс для запрессовки секций в пакеты?
5. Каковы особенности сборки и запрессовки пакетов различиых типов конденсаторов?
6. Укажите методы и назначение электрических испытаиий пакетов.
7. Почему нельзя применять канифольно-масляные флюсы при пайке схемы пакетов, предназначенных под пропитку хлорированными дифениламн?
8. Почему необходимо уделять особое внимание личной гигиене при намотке секций и изготовленин пакетов?

Глава V. АРМИРОВАНИЕ ИЗОЛЯТОРОВ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВЫВОДОВ

§ 31. Назначение и способы армирования изоляторов

Попадание влаги и воздуха внутрь конденсаторов из окружающей среды, как известно, приводит к преждевременному выходу их из строя. Поэтому герметизации конденсаторов придается особое значение.

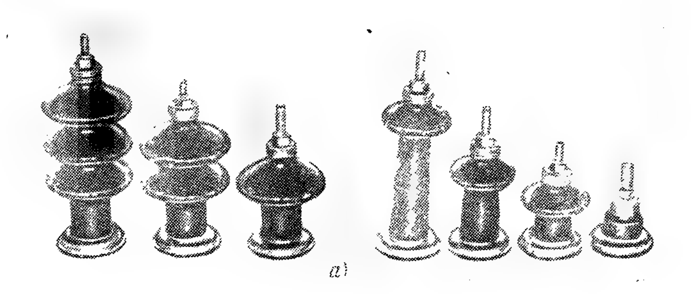
Наиболее сложной и трудной задачей в создании надежной герметичности силовых конденсаторов является герметизация их выводов. Обеспечение надежной вакуумно-плотной герметизации выводов стало возможным при освоении соединения металла с электрофарфором и стеклом, что позволило разработать конструкции изоляторов, полностью исключающие проникновение влаги и воздуха в конденсаторы, и в значительной степени повысить их эксплуатационную надежность и срок службы. Разработан ряд способов соединения металла с фарфором и стеклом.

При изготовлении стеклянных изоляторов металлическую арматуру из специального сплава (ковара), имеющего одинаковый со стеклом коэффициент температурного расширения, вплавляют в стекло.

Армирование фарфоровых изоляторов выполняют иначе. На поверхность их соединения с металлом предварительно методом вжигания наносят тонкий металлический слой. Этот процесс называется металлиза-

цией. Металлический слой подвергают горячему лужению. В отдельных случаях поверх металлического слоя для повышения его прочности гальваническим способом наносят слой меди, который затем также облуживают.

К облуженным поверхностям изоляторов припаивают металлическую арматуру, с помощью которой и соединяют изоляторы с корпусом конденсатора. Применяется и непосредственное соединение облуженного металлизированного слоя изолятора (без арматуры) с корпусом конденсатора.



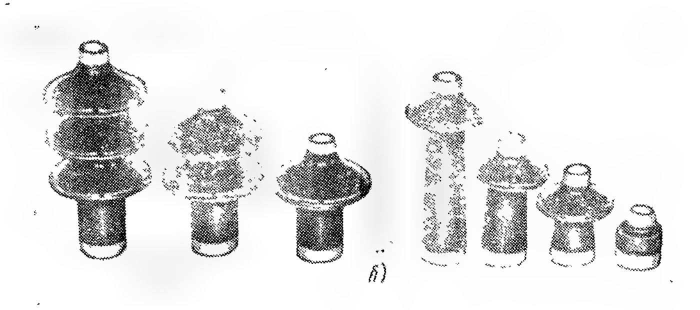


Рис. 44. Фарфоровые изоляторы:
а — армированные, *б* — неармированные

Для нанесения металлического слоя на фарфоровые изоляторы используют ряд металлов и в первую очередь такие благородные металлы, как серебро и платину. Разработана также технология металлизации фарфоровых изоляторов железом. Толщина слоя металлизации железом (50 мкм) в 2—3 раза превышает толщину слоя металлизации серебром и платиной, благодаря чему можно не наращивать дополнительный слой гальваническим путем.

В силовом конденсаторостроении применяют фарфоровые изоляторы, металлизированные железом и серебром. Конденсаторы с металлизированными изоляторами на протяжении ряда лет показали высокую надежность как в условиях эксплуатации, так и при длительном хранении.

На заводы фарфоровые изоляторы (рис. 44) поступают металлизированными и неметаллизированными без арматуры. Неметаллизированные изоляторы подвергают металлизации с последующей припайкой арматуры.

§ 32. Армирование металлизированных изоляторов

Как указывалось ранее, изоляторы, поступающие на заводы неметаллизированными, перед припайкой арматуры подвергают металлизации серебром. Для нанесения на изолятор металлического слоя используют не чистое металлическое серебро, а специальную серебряную пасту, которую получают в готовом виде. Технологический процесс металлизации сводится к трем основным операциям: подготовке изоляторов под серебрение, нанесению серебряной пасты и вжиганию серебра в керамику в конвейерных печах при температуре 800—820° С. Поскольку одно покрытие дает слой серебра недостаточной толщины (5—7 мкм), металлизацию изоляторов производят трижды. После вжигания третьего слоя серебра изоляторы поступают на облуживание и припайку арматуры.

После нанесения металлического слоя изоляторы облуживают для защиты серебряного слоя от окисления при длительном хранении, а также для припайки металлической арматуры (переходного кольца и колпачка контактного стержня). Для облуживания серебряного слоя применяют мягкий припой ПСр-2 с содержанием 2% серебра. Лужение припоями, не содержащими серебра, приводит к ускоренному растворению серебряного слоя металлизации в олове припоя. Температура плавления припоя, используемого при облуживании, должна быть не ниже температуры плавления припоев, которыми в дальнейшем припаивают арматуру к изоляторам и изоляторы к корпусам конденсаторов. В случае использования для облуживания более легкоплавких

припоев при последующих пайках происходит нарушение герметичности паяных швов.

При облуживании изоляторы разогревают в термошкафу до 60—80° С и выдерживают при этой температуре не менее 1 ч. Прогретые изоляторы поочередно извлекают из термошкафа, и места, подлежащие лужению, при помощи кисточки смазывают раствором хлористого цинка. Затем на разогретый (предварительно очищенный от нагара и облуженный) электропаяльник набирают припой и быстро, но аккуратно облуживают необходимые места ровным слоем, не допуская пропусков и растворения металлизированного слоя. Чтобы не нарушить серебряного слоя, по одному и тому же месту металлизированной поверхности изолятора допускается проводить разогретым паяльником не более 2—3 раз. Облуженные изоляторы передают на припайку арматуры.

Перед сдачей облуженных изоляторов на длительное хранение их следует промыть в горячей проточной воде, просушить и уложить в специальную тару.

Качество лужения изоляторов проверяют внешним осмотром. Слой лужения должен быть непрерывным, без острых кромок и нарушения слоя металлизации. Для облуживания изоляторов следует применять электропаяльники мощностью 100 Вт с температурой нагрева стержня 340—360° С. Более высокая температура стержня паяльников недопустима из-за возможности нарушения металлизированного слоя.

Металлическая арматура для обеспечения качественной припайки к изолятору также должна быть тщательно облужена, иметь равномерный слой припоя, без наплывов и пропусков. Арматуру лудят в ваннах с электрическим подогревом, погружая в расплавленный припой и затем стряхивая излишки припоя в центрифуге.

Лудить стальные и латунные детали в одних и тех же ваннах не допускается, так как при лужении латунных деталей припой в ваннах засоряется цинком, а лужение стальных деталей в припое с наличием цинка приводит к вздутию и нарушению герметичности паяных швов в процессе последующей вакуумной сушки и пропитки конденсаторов.

Изоляторы, поступающие для припайки арматуры, должны быть предварительно нагреты в термошкафу до 60—80° С. Как правило, изоляторы, поступающие на

припайку арматуры непосредственно после облуживания серебряного слоя, предварительного нагрева не требуют. Металлическую арматуру, так же как и изоляторы, перед припайкой предварительно нагревают до 60—80° С. Разогрев изоляторов и арматуры производится для сокращения времени пайки во избежание растворения серебра в припое. Благодаря предварительному разогреву повышается производительность и обеспечивается высокое качество пайки.

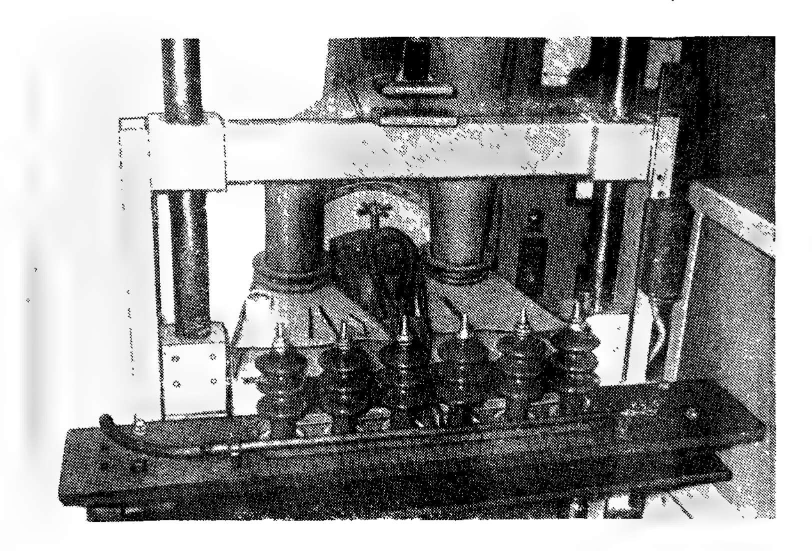


Рис. 45. Рабочий стол для высокочастотной припайки арматуры

Припайка арматуры к металлизированным изоляторам осуществляется на установках высокочастотного нагрева и разделяется на две операции: припайку переходного кольца и припайку колпачка с контактным стержнем.

Для высокочастотной пайки используют ламповые генераторы ЛЗ-13 мощностью 10 кВт, частотой 440 кГц.

Установка для высокочастотной пайки, кроме генератора, состоит из рабочего стола (рис. 45) с гнездами для изоляторов и индуктора специальной конфигурации. При припайке арматуры токами высокой частоты устанавливают изоляторы с арматурой в гнезда стола, укладывают припой на спаиваемые швы, смачивают места

пайки флюсом и снимают армированные изоляторы со стола. Проволочный припой в виде колец заготовляют заранее. Арматура припаивается автоматически. При включении установки в течение заданного времени происходит разогрев и припайка арматуры с последующим охлаждением сжатым воздухом. Изоляторы с припаянной арматурой поступают на проверку герметичности мест пайки.

§ 33. Изготовление малоиндуктивных выводов

Для обеспечения малой индуктивности в ряде импульсных конденсаторов применяют малоиндуктивные выводы специальной конструкции. Один из наиболее

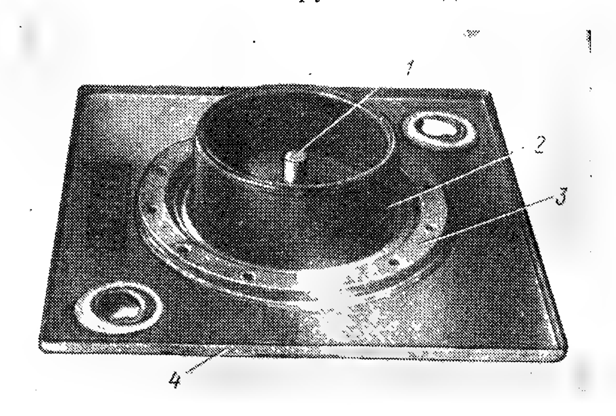


Рис. 46. *Малоиндуктивный вывод из эпоксидного компаунда*

распространенных малоиндуктивных выводов показан на рис. 46. Выводы монтируют непосредственно на стальной крышке, привариваемой к корпусу конденсатора. Высоковольтным выводом является латунный стержень *1*, изолированный от крышки изолятором *2* из эпоксидного компаунда. Низковольтным выводом служит стальное кольцо *3* с резьбовыми отверстиями, приваренное непосредственно к крышке *4* конденсатора.

Технологический процесс изготовления малоиндуктивных выводов можно разделить на следующие основные стадии: сборку литьевой формы с крышкой конденсатора; подготовку эпоксидного компаунда; заливку компаунда в литьевую форму; отверждение компаунда.

Крышку для изготовления выводов предварительно подвергают дробеструйной обработке и вместе с латунным стержнем обезжиривают ксилолом или толуолом. Затем для создания буферного слоя внутреннюю кромку крышки обматывают стеклолентой, покрывают слоем эпоксидного компаунда холодного отверждения и сушат при комнатной температуре 5 ч. Буферный слой служит для компенсации внутренних напряжений, возникающих на стыке металла крышки с компаундом изолятора при колебаниях температуры. С этой же целью центральную часть крышки выполняют гофрированной.

В состав компаунда входят: эпоксидная смола ЭД-5 — 40%; молотый пылевидный кварц КП-3 — 40%, полиэтиленполиамин — 4% и полиэфир МГФ-9 — 16%.

Подготовка литьевой формы заключается в обезжиривании рабочих поверхностей и стыков, а также в нанесении на них разделительной смазки для предотвращения прилипания компаунда к литьевой форме. Для смазки используют 5—7%-ный раствор кремнийорганического каучука в смеси толуола и бензина. После смазки форму выдерживают при комнатной температуре 30 мин, а затем 40 мин в термошкафу при 80—100° С.

Подготовленную таким образом литьевую форму собирают с крышкой конденсатора, устанавливают латунный стержень и фиксируют по заливочным отверстиям. Собранная с крышкой форма стягивается гайками до полного прилегания обеих половин формы к крышке и разогревается в термошкафу при 120—140° С не менее 40 мин. Разогретую литьевую форму с крышкой помещают в вакуумный шкаф и обезгаживают перед заливкой компаунда при остаточном давлении 100—150 Па и температуре 120—130° С в течение 20 мин.

В эпоксидный компаунд, применяемый для заливки, входят следующие компоненты: эпоксидная смола ЭДЛ — 30%, молотый пылевидный кварц КП-3 — 60% и фталевый ангидрид — 10%.

Эпоксидный компаунд приготовляют и заливают на литьевой установке, состоящей из баков смесителя и заливочного, а также вакуумного шкафа.

Предварительно разогретую до 120° С эпоксидную смолу и просушенный кварцевый песок, служащий наполнителем, загружают в бак-смеситель и при остаточ-

ном давлении 100—500 Па перемешивают до получения однородной массы. Приготовленную смесь сливают в установленный над вакуумным шкафом заливочный бак и в нее добавляют предварительно расплавленный фталевый ангидрид, служащий отвердителем. Смесь с отвердителем перемешивают под вакуумом при температуре 110° С и заливают в литьевую форму, которую переносят в термошкаф для отверждения. Вакуумную обработку компаунда производят для удаления воздушных включений с целью повышения электрической прочности изолятора.

Отверждение происходит при атмосферном давлении и температуре 120° С в течение 10 ч. После этого отливку отделяют от формы и вновь помещают в термошкаф для окончательного ее отверждения, которое продолжается 10 ч. Затем отливку охлаждают в термошкафу со скоростью не более 7° С в час. Отвердевший компаунд и металлические детали выводов образуют надежное и герметичное соединение. Изготовленные выводы очищают от облоя, острых кромок компаунда и передают для проверки герметичности.

§ 34. Проверка герметичности армированных изоляторов и выводов

Армированные изоляторы перед установкой на конденсаторы проверяют на герметичность керосином или воздушным давлением по ГОСТ 3242—69, а выводы только керосином.

При проверке керосином соединения изолятора с арматурой обмазывают водным раствором мела и высушивают. Изоляторы устанавливают контактными стержнями на специальные поддоны, а малоиндуктивные выводы — на стеллажи, смачивают керосином и выдерживают не менее 10 мин. При появлении бурых пятен на меловой обмазке изоляторов или выводов их бракуют и направляют на исправление.

При проверке воздушным давлением армированные изоляторы устанавливают в гнезда приспособления и опускают в ванну с водой, нагретой до 60—80° С. Во внутреннюю полость изолятора и под переходное кольцо подают сжатый воздух под избыточным давлением 200—250 кПа. Негерметичные места определяют по появлению пузырьков воздуха в воде и путем подпайки

устраняют, после чего изоляторы повторно проверяют на герметичность. Проверка изоляторов воздушным давлением является более эффективной и производительной.

Перед установкой на конденсаторы армированные изоляторы и выводы подвергают тщательной мойке в горячей проточной воде для удаления флюсов и других загрязнений и сушат в термошкафах.

Контрольные вопросы

1. Какие способы армирования изоляторов вы знаете?
2. Почему при облуживании изоляторов и припайке арматуры не допускается перегрев слоя металлизации?
3. Какие основные операции производят при припайке арматуры на высокочастотной установке?
4. Какова последовательность приготовления эпоксидного компаунда при изготовлении малоиндуктивных выводов?

Глава VI. СБОРКА КОНДЕНСАТОРОВ

§ 35. Сборка и установка в корпус выемной части

Основными операциями при сборке конденсаторов являются: сборка выемной части (если она состоит из двух и более пакетов), посадка ее в корпус, припайка изоляторов к крышке, соединение отводов выемной части с выводами конденсаторов и приварка крышки к корпусу.

Сборка конденсаторов производится до или после пропитки выемных частей. Сборка после пропитки менее технологична, более трудоемка и сложна, в то же время изоляционные корпуса не выдерживают высоких температур, при которых проводят вакуумную сушку и пропитку конденсаторов (до 150° С). Так, например, для корпусов из бакелизированной бумаги и некоторых пластмасс максимально допустимая температура не более 100° С. Фарфоровые корпуса могут выдерживать высокие температуры, но из-за того, что их объем значительно превышает объем выемных частей, нецелесообразно выполнять сушку и пропитку собранных конденсаторов, поскольку в этом случае плохо используется полезный объем вакуумно-пропиточных шкафов. Кроме того, одной из причин, не позволяющих производить сборку конденсаторов в фарфоровых и бакелитовых кор-

пусах до пропитки, является недостаточная теплостойкость резины, применяемой в качестве уплотнений.

Для сборки конденсаторов и их выемных частей до пропитки пакеты могут поступать как непосредственно после изготовления, так и после предварительной сушки. Наиболее простой является сборка конденсаторов I габарита, выемная часть которых состоит из одного пакета. К этой группе относят конденсаторы серий КС, КСК, ЭСВ, ЭСВК, ИМ, ИК и др.

Сборка конденсаторов I габарита производится на поточной линии. На рабочее место сборщика одновременно подаются пакеты, а также корпуса, крышки, изоляционные прокладки и другие детали, необходимые для сборки. Корпуса и крышки, изготовляемые в механических цехах, предварительно проходят тщательную мойку в горячем содовом растворе и в проточной воде с последующей сушкой в термошкафу. На крышках выбивают условное обозначение типа и порядковые номера, которые присваивают каждому из конденсаторов. В каждый корпус вручную вставляют пакет, поверх него в соответствии с чертежом укладывают прокладки для изоляции пакета от крышки. Одновременно отводы пакета продевают в отверстия, предусмотренные в прокладках. При посадке пакетов необходимо обращать внимание на наличие изоляционных прокладок от дна корпуса и не допускать повреждения корпусной изоляции. После укладки крышек, на которые предварительно напаяны изоляторы, конденсаторы направляют на участок сварки.

Сборка конденсаторов II габарита, выемная часть которых состоит из одного пакета, практически не отличается от сборки конденсаторов I габарита. Однако из-за большой массы пакетов посадка их в корпуса осуществляется с помощью пневмоподъемников или электротельферов. Пакеты поднимают за ушки, приваренные к стяжным хомутам. При посадке пакетов в корпуса применяют направляющие, которые предохраняют корпусную изоляцию от повреждения о кромки корпуса.

Если выемная часть конденсаторов состоит из двух и более пакетов, перед посадкой в корпус предварительно монтируют выемную часть.

Выемные части собирают на специальных рабочих местах, оборудованных стеллажами и подъемными средствами. При сборке отдельные пакеты выемной части

соединяют между собой как механически, так и электрически. Механическое соединение осуществляется скреплением щек пакетов друг с другом непосредственно с помощью винтов или болтов или соединительными планками. Электрическое соединение пакетов выполняют перепайкой отводов отдельных пакетов между собой или припайкой их к общей токопроводящей шине в соответствии с электрической схемой конденсатора.

Пайка схемы является одной из основных операций сборки и должна выполняться с особой тщательностью, так как от качества пайки зависит надежность работы конденсаторов, особенно импульсных, рассчитанных на большие разрядные токи. Пайку производят припоем ПОССу30-2 с применением соответствующих флюсов с помощью электропаяльников мощностью 300 Вт.

Выемные части, сборка с корпусом которых осуществляется после пропитки, направляют на вакуумную сушку и пропитку.

§ 36. Припайка изоляторов. Соединение отводов выемной части с выводами конденсаторов

Для изоляции выводов конденсаторов применяют армированные проходные изоляторы, которые соединяют с корпусом конденсатора припайкой их арматуры к крышке корпуса. В зависимости от типа и назначения конденсатора на крышке корпуса устанавливают от одного до четырех изоляторов.

Изоляторы припаивают до приварки крышек к корпусу на высокочастотных установках.

Установки состоят из рабочего стола, пульта управления и источника тока высокой частоты. Источником тока служит высокочастотный генератор ЛЗ-13 мощностью 10 кВт и частотой тока 440 кГц.

Для припайки изоляторов крышку конденсатора устанавливают на подвижный стол. На нее монтируют изоляторы и на место спая закладывают кольца припоя с флюсом. Во избежание распайки переходного кольца от металлизированной поверхности фарфора на изоляторы надевают защитные экраны. Затем изоляторы, установленные на крышке, с помощью подвижного стола подводят под индукторы в зону пайки.

При пропускании тока через индуктор крышка и переходное кольцо разогреваются, а места спая заполняются расплавляющимся припоем. После отключения тока места пайки охлаждаются сжатым воздухом и крышка с напаянными изоляторами снимается с подвижного стола установки.

При пайке в автоматическом режиме перемещение подвижного стола с установленными на крышке изоляторами, припайка и охлаждение изоляторов с выдержкой заданного времени происходят автоматически. Таким образом, рабочий выполняет лишь вспомогательные операции: устанавливает крышки на подвижный стол, помещает изолятор на крышку, укладывает кольца припоя и снимает крышку с напаянными изоляторами.

Крышки с напаянными изоляторами моют, после чего их передают на сборку с корпусом. Перед приваркой крышки к корпусу отводы пакета припаивают к выводам изоляторов и крышку устанавливают на корпус. Для этого облуженные концы ленточного отвода пакета и выводы изолятора соединяют в замок и сжимают плоскогубцами. Место соединения тщательно пропаивают припоем.

Если вывод изолятора выполнен в виде стержня, конец отвода пакета вставляют в прорезь стержня, зажимают в нем и тоже тщательно пропаивают. Отводы пакета собирают в гармошку и нижними торцовыми частями изоляторов прижимают к пакету. На эту операцию необходимо обращать особое внимание, так как при неправильной укладке отвода происходит его смещение в сторону крышки, что неизбежно приводит к пробою конденсаторов на корпус при их испытаниях.

Если отвод пакета выполнен в виде канатика, последний продевают через отверстия в изоляторе и шпильке контактного стержня. После приварки крышки канатик герметично припаивают к шпильке контактного стержня, конец его обрезают и заливают припоем.

В конденсаторах с водяным охлаждением (серии ЭСВ) после приварки крышки к корпусу припаивают выступающие концы охлаждающих трубок электрическими паяльниками со сквозными отверстиями в стержнях, через которые пропускают концы трубок.

Иногда припайку изоляторов к крышке производят после ее приварки к корпусу. Однако при этом возможно попадание загрязнений внутрь конденсатора. Чтобы предотвратить попадание загрязнений перед приваркой крышки, закрывают отверстия под изоляторы и для заливки пропитывающей жидкости. Кроме того, закрывают и луженые поверхности, предохраняя их от оплавления и загрязнений.

§ 37. Приварка крышек к корпусу

Для приварки крышек применяют полуавтоматическую электродуговую сварку в зоне защитных газов. Приварку производят в обособленных помещениях, оборудованных местной и общей приточно-вытяжной вентиляцией для удаления пыли и газов, образующихся при сварке. Рабочие места электросварщиков в виде специальных кабин расположены вдоль транспортера, который служит для перемещения конденсаторов. Кабины, защищающие рабочих от вредных излучений электрической дуги, оборудованы местным отсосом и освещением. Для удобства сварки в них установлены рабочие поворотные столы.

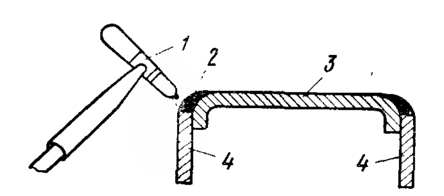


Рис. 47. Угловое соединение крышки с корпусом конденсатора сваркой: 1 — электрододержатель, 2 — сварной шов, 3 — крышка, 4 — стенка корпуса

В конструкциях конденсаторов принято преимущественно угловое соединение крышки с корпусом. При этом соединении (рис. 47) крышку вставляют в корпус отбортовкой вниз, что обеспечивает свободное стекание излишков пропитывающей жидкости с крышки корпуса после пропитки конденсаторов.

Крышки конденсаторов в корпусах из стали приваривают на полуавтомате А-547 в среде двуокиси углерода. Приварку крышек конденсаторов в корпусах из латуни выполняют аргоно-дуговой сваркой на полуавтомате ПШП-10. Защитные газы оттесняют от зоны сварки воздух, так как входящие в его состав азот и кислород ухудшают качество сварного шва.

Приварку крышек производят плавящимся электродом. Для приварки крышек из стали применяют элек-

тродную проволоку Св-08Г2С или Св-08ГС диаметром 0,8—1,2 мм, а для приварки латунных крышек — сварочную проволоку ЛК-62-05 диаметром 1,5 мм.

Перед сваркой свариваемые поверхности корпуса и крышки, а также сварочная проволока должны быть тщательно очищены и обезжирены органическими растворителями. Крышку вставляют в корпус, подгоняют к его кромкам и закрепляют при помощи струбцин или пневмоприспособления. Во избежание распайки изоляторов в процессе сварки их защищают и охлаждают асбестовыми экранами, смоченными водой. Сварку производят без прихваток: сначала приваривают короткие стороны крышки, затем длинные. Сварку необходимо вести непрерывной дугой с постоянным расстоянием между электродом и свариваемым материалом. Режимы сварки выбирают в соответствии с регламентами.

К сварному шву предъявляют высокие требования. Шов должен быть плотным, механически прочным и соответствовать размерам, указанным на чертеже. Не допускаются наплывы, подрезы, глубокие кратеры, поджоги, трещины, непровары, свищи и поры. Качество сварного шва зависит не только от качества свариваемых металлов и электродов, но и от правильной установки крышки и подгонки ее к корпусу, чистоты поверхности металла, подготовки кромок. Приварку крышек должны выполнять квалифицированные сварщики.

Приварку крышек конденсаторов в изоляционных корпусах производят на полуавтомате СА-124М со сварочным пистолетом (рис. 48). Полуавтомат предназначен для сварки полимерных термопластичных материалов (полипропилена, полиэтилена, поливинилхлорида). Сварка осуществляется присадочным прутком из тех же материалов.

Полуавтомат состоит из пульта управления и сварочного пистолета, служащего для подачи и расплавления присадочного прутка. Сварочный пистолет соединяется с пультом управления с помощью разъема. Пруток подается роликами, приводимыми во вращение электродвигателем, который включается с помощью пусковой кнопки, расположенной на корпусе пистолета.

Разогрев присадочного прутка осуществляется нагревательным элементом. Температура нагревателя контролируется с помощью термопары и поддерживается автоматически на заданном уровне с пульта управления.

Для сварки крышку *3* вставляют в корпус. Конденсатор устанавливают на поворотный стол и с помощью струбцины стенки *1* корпуса поджимают к крышке так, чтобы стыки кромок образовали по всему периметру паз *2* под сварной шов *4* (рис. 49). Свариваемые кромки

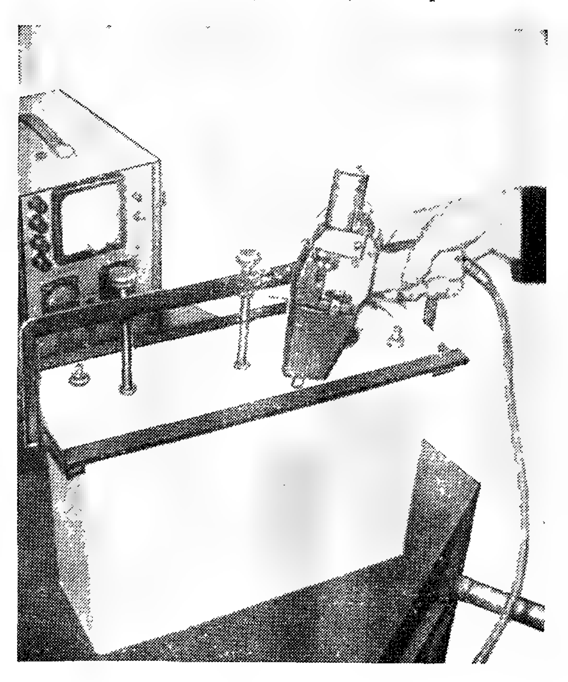


Рис. 48. Приварка крышек конденсаторов в изоляционных корпусах на полуавтомате СА-124М

обезжиривают ацетоном и, плавно перемещая пистолет, заполняют паз расплавленной присадкой, образуя герметичный сварной шов.

При сварке пистолет должен быть установлен под углом 90° к плоскости крышки и опираться на направляющую линейку, укрепленную на струбцине для сохранения постоянного зазора между пистолетом и крышкой. В процессе сварки следят за полнотой заполнения паза расплавленной присадкой. Сварной шов не должен выступать над свариваемыми поверхностями больше чем на 1,5 мм. Для обеспечения надежной герметичности

стыки сварного шва должны перекрываться на 5—10 мм. После окончания сварки наплывы в местах стыков зачищают ножом.

При выполнении сварочных работ необходимо строго соблюдать правила техники безопасности и пожарной безопасности. Особое внимание следует уделять безопасным методам работы при сварке латунных изделий, так как образующиеся во время сварки пары окиси

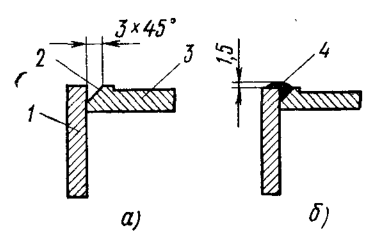


Рис. 49. Соединение крышки с корпусом конденсатора:

а — до приварки, *б* — после приварки; *1* — стенка корпуса, *2* — паз, *3* — крышка, *4* — сварной шов

цинка ядовиты и при концентрации свыше 0,005 мг/л опасны для здоровья. Поэтому рабочее место сварщика должно быть оборудовано интенсивной вытяжной вентиляцией. Необходимо следить, чтобы газы и пыль, поднимающиеся от дуги, не попадали в зону дыхания под маску сварщика.

§ 38. Проверка герметичности сварных и паяных швов

Для обеспечения надежной герметичности конденсаторов при их изготовлении осуществляется пооперационный контроль качества сварных и паяных швов. Первой проверкой является контроль сварных швов корпуса в механическом цехе непосредственно после их выполнения. Затем проверяют сварные швы, соединяющие крышку с корпусом, и паяные швы изоляторов после сборки конденсаторов. Наконец, полную проверку проходят готовые пропитанные конденсаторы перед электрическими испытаниями. Методика окончательной проверки конденсаторов рассматривается в § 62.

Контроль качества сварных и паяных швов конденсаторов подразделяется на контроль отсутствия наружных дефектов и контроль непроницаемости швов.

В наличии или отсутствии наружных дефектов швов убеждаются путем внешнего осмотра. Размеры швов

должны соответствовать размерам, указанным на чертеже.

Контроль за непроницаемостью сварных и паяных швов для жидкостей и газов осуществляется различными методами.

Один из методов — испытание керосином — основан на явлении капиллярности, которое заключается в способности многих жидкостей, в том числе и керосина, подниматься по капиллярным трубкам. Такими капиллярными трубками являются сквозные поры и трещины в металле сварного шва.

При испытании керосином наружные стороны сварных швов корпуса покрывают водной суспензией мела, после высыхания которой внутренние стороны швов смачивают керосином. Смачивание керосином повторяют 2—3 раза в течение испытания. Время выдержки корпуса после смачивания керосином 45 мин при комнатной температуре. С понижением температуры это время увеличивают.

Осмотр сварных швов производят сразу после смачивания керосином и повторяют периодически в течение времени испытания. Проницаемость сварных швов и места дефектов обнаруживают по появлению на покрытой мелом поверхности швов жирных пятен или полосок. Дефектные корпуса подваривают и испытывают повторно.

Контроль сварных и паяных швов собранных конденсаторов осуществляют путем испытания воздушным давлением. При испытании воздушным давлением через заливочное отверстие внутрь конденсатора подают сухой сжатый воздух под давлением $(1{,}5—2) \cdot 10^5$ Па. Конденсаторы опускают в нагретую воду и выдерживают не менее 3 мин. Температура воды в ванне должна составлять 60—80° С. Проницаемость швов и места дефектов устанавливают по появлению пузырей на поверхности швов. Если пузырьки не появляются, конденсаторы считают герметичными.

Проверку конденсаторов на герметичность производят на специально оборудованных стендах (рис. 50), располагаемых по ходу транспортера. Стенд состоит из ванны с паровым обогревом для воды, загрузочной клети и подъемного устройства.

Для наблюдения за появлением пузырьков воздуха из конденсаторов внутри ванны смонтировано электри-

ческое освещение, а боковые стенки ванны имеют смотровые окна. Для проверки конденсаторы устанавливают в загрузочную клеть с коллектором и распределительными шлангами для подачи сжатого воздуха. Чтобы предотвратить вспучивание и деформацию стенок корпусов, загрузочную клеть выполняют необходимой жесткости, а конденсаторы устанавливают в нее с малыми зазорами. Конденсаторы поднимают и опускают в ванну с помощью пневмоподъемника.

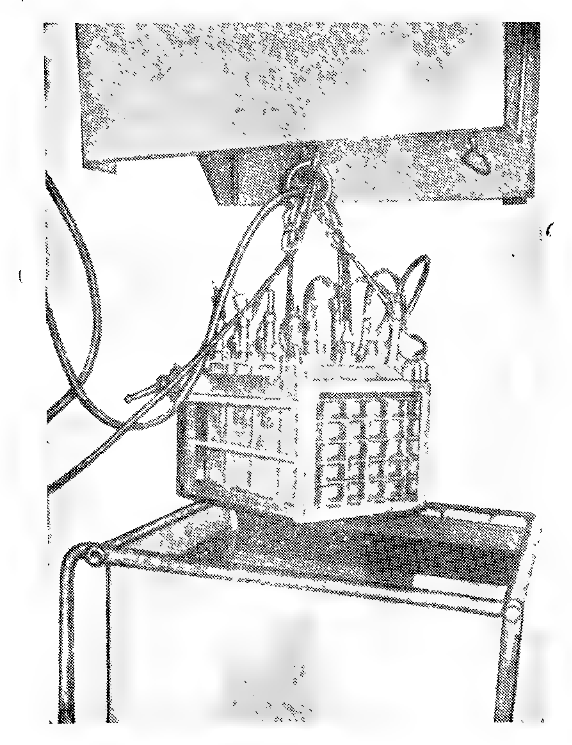


Рис. 50. Стенд для проверки конденсаторов на герметичность воздушным давлением

Контрольные вопросы

1. Расскажите о порядке сборки конденсаторов.
2. Почему сварку конденсаторов производят в среде защитных газов?
3. Каким требованиям должны удовлетворять сварные и паяные швы конденсаторов?
4. Назовите методы проверки конденсаторов на герметичность.

Глава VII. ВАКУУМНАЯ СУШКА И ПРОПИТКА КОНДЕНСАТОРОВ

§ 39. Газы и пар. Понятие о вакууме

Согласно молекулярно-кинетической теории все окружающие нас вещества состоят из молекул и атомов, связанных между собой силами сцепления. В зависимости от величины этих сил вещество находится в твердом, жидком или газообразном состоянии.

Газообразные вещества вследствие теплового движения и очень слабой связи между молекулами неспособны самостоятельно сохранять ни форму, ни объем, а всегда занимают все предоставленное им пространство.

Состояние газа определяют тремя его параметрами — давлением p, объемом V и температурой T, связь между которыми выражается уравнением Менделеева — Клапейрона $pV=RT$, где R — постоянный коэффициент.

Понятия о температуре и объеме не требуют разъяснения. Давление может быть определено как сила, действующая на единицу поверхности, соприкасающейся с газом, и объясняется тем, что движущиеся молекулы ударяются об эту поверхность. Давление, производимое газом на стенки сосуда, зависит от числа молекул в единице объема, их массы и скорости движения.

За единицу давления принят паскаль (Па), что означает давление, вызываемое силой в один ньютон (Н), которая равномерно распределена по поверхности площадью 1 м^2. Кратными единицами давления служат килопаскаль (кПа) и мегапаскаль (МПа).

Газообразное вещество называется **газом**, если его температура выше критической, и **паром**, если его температура ниже критической.

Критическая температура данного вещества — это такая температура, выше которой вещество может находиться только в газообразном состоянии; никаким сжатием превратить его в жидкость (сконденсировать) невозможно.

Если пар не находится в состоянии насыщения, к нему применимы газовые законы. Для насыщенных паров справедливость газовых законов, связанных с изменением параметров пара (давления, объема, температуры), нарушается.

В природе и технике постоянно наблюдаются взаимные превращения жидкости в пар (испарение) и пара в жидкость (конденсация).

Если испарение какого-либо вещества происходит в замкнутом сосуде, через некоторое время наступает состояние насыщения, т. е. устанавливается постоянное равновесное давление пара, несмотря на продолжающееся испарение. Насыщение наступает в тот момент, когда количество испаряющихся из жидкости молекул в единицу времени сравняется с количеством молекул пара, конденсирующихся в жидкость за то же время. При этом устанавливаются постоянные плотность и давление насыщенного пара при неизменной температуре.

Жидкости и твердые вещества имеют определенные давления насыщенных паров, которые необходимо учитывать в вакуумной технике.

В отличие от газа давление насыщенного пара можно изменить только регулируя его температуру. При сжатии или расширении насыщенного пара (без изменения температуры) давление его остается неизменным, так как происходит соответственно или конденсация части пара, или дополнительное испарение.

Когда при повышении температуры источник пара полностью испарится, пар перестает быть насыщенным и при дальнейшем нагревании ведет себя как газ. Наоборот, охлаждение ненасыщенного пара приводит к образованию насыщенного пара, а затем к конденсации в жидкость и уменьшению плотности и давления насыщенного пара.

Если в замкнутом объеме содержится источник пара, а в различных участках объема температура различна, давление насыщенного пара будет определяться наиболее низкой температурой. В пространстве, отделенном от источника пара наиболее холодной стенкой, давление насыщенного пара источника устанавливается в полном соответствии с температурой этой холодной стенки. В пространстве же между наиболее холодной стенкой и источником пара, пока он не испарился полностью, происходит перегонка источника пара из наиболее нагретого в наиболее охлажденный участок системы.

Вакуум в переводе с латинского означает «пустота». В практике под вакуумом понимают состояние разреженного газа, которое характеризуется давлением ниже атмосферного (область давлений ниже 10^5 Па).

В зависимости от степени разрежения газа различают низкий, средний и высокий вакуум. Эти понятия являются относительными и определяются соотношением между средней длиной свободного пути молекул и линейными размерами сосуда, в котором заключен газ.

Под средней длиной свободного пути молекул понимают среднее расстояние, которое проходит молекула между двумя соударениями при своем непрерывном хаотическом движении. Если средняя длина свободного пути молекул значительно меньше линейных размеров сосуда, такое состояние газа называется *низким вакуумом*, если средняя длина свободного пути молекул значительно превышает линейные размеры сосуда,— *высоким вакуумом*.

Разреженность газа в сосуде, при которой средняя длина свободного пути молекул сравнима с линейными размерами сосуда, называется *средним вакуумом*.

Очевидно, что чем больше молекул в единице объема, тем чаще происходят их взаимные соударения и тем меньший путь проходит молекула между двумя соударениями. Следовательно, средняя длина свободного пути молекул обратно пропорциональна давлению газа.

В зависимости от соотношения между средней длиной свободного пути и размерами сосуда изменяются многие свойства газа и явления, происходящие в газовой среде. Например, с повышением вакуума увеличивается скорость испарения веществ. Наибольшая скорость испарения вещества будет в высоком вакууме, когда испарившиеся молекулы не возвращаются на поверхность, с которой происходит испарение.

Удаление газа из замкнутого объема, связанное с уменьшением в нем молекулярной концентрации и давления газа, называется *процессом откачки*. Газ из сосудов удаляют специальными вакуумными насосами.

§ 40. Влажность материалов. Способы сушки

Окружающий нас атмосферный воздух всегда содержит некоторое количество водяного пара.

Если сравнительно сухой материал поместить во влажный воздух, материал будет увлажняться, поглощая влагу из воздуха. Содержание влаги на единицу

массы материала со временем будет повышаться, пока не установится некоторое равновесное состояние влажности.

Наоборот, если в воздух той же относительной влажности поместить материал с высокой начальной влажностью, влажность материала будет уменьшаться, приближаясь также к равновесному состоянию влажности.

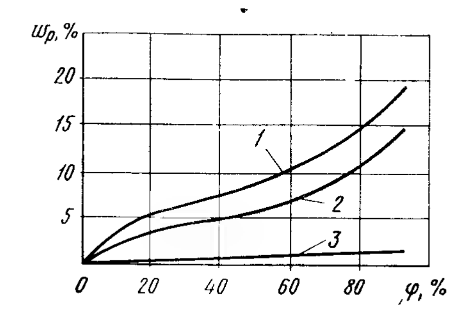


Рис. 51. Зависимость равновесной влажности $w_р$ от относительной влажности окружающего воздуха φ для различных материалов:

1 — дерево, 2 — кабельная и конденсаторная бумага, 3 — пористая керамика

Для разных материалов значения равновесной влажности при одном и том же значении относительной влажности воздуха могут быть различными (рис. 51). Большое влияние на влажность материала оказывает температура. С повышением температуры равновесная влажность понижается. Например, для конденсаторной бумаги плотностью $0{,}8 \cdot 10^3$ кг/м³ при относительной влажности воздуха 60% с повышением температуры от 20 до 40° С равновесная влажность понижается от 9,5 до 7,3%.

Равновесная влажность материала при нормальной температуре воздуха, относительная влажность которого равна примерно 98%, называется влагопоглощаемостью материала, определяется отношением массы влаги в материале $M_в$ к массе абсолютно сухого материала $M_с$ и выражается в процентах:

$$w = \frac{M_в - M_с}{M_с} \cdot 100\%.$$

Малой влагопоглощаемостью обладают неполярные материалы (стирофлекс, полипропилен, парафин и др.). Весьма заметной влагопоглощаемостью отличаются сильно полярные материалы, особенно содержащие в составе молекул гидроксильные группы ОН (целлюлоза).

На влагопоглощаемость помимо химической природы материала большое влияние оказывает его строение, т. е. наличие и размер капиллярных промежутков внутри материала, в которых накапливается влага.

Сильно пористые материалы (в частности, волокнистые) поглощают больше влаги, чем материалы плотного монолитного строения. К сильно пористым волокнистым материалам, широко применяемым в конденсаторостроении, относят конденсаторную и кабельную бумагу, электрокартон и др., исходным сырьем для которых является древесная целлюлоза (клетчатка). Волокнистое строение этих материалов объясняет большое количество микрокапилляров в них радиусом $r < 10^{-5}$ см и макрокапилляров радиусом $r > 10^{-5}$ см.

Микрокапилляры образуются зазорами между отдельными молекулами клетчатки и между пучками таких молекул, называемых мицеллами. Макрокапилляры образуются зазорами между скоплениями мицелл, представляющих собой элементарные волокна, называемые фибриллами, и зазорами между волокнами, построенными из фибрилл.

Увлажнение волокнистых материалов на первой стадии происходит вследствие того, что молекулы воды адсорбируются (поглощаются) внутренними и внешними поверхностями мицелл. Эта влага удерживается молекулярным силовым полем и прочнее всего связана с материалом. Поглощение адсорбционной влаги связано с изменением физико-механических свойств материала (сокращением объема волокон, выделением большого количества тепла и уменьшением прочности материала) и происходит при относительной влажности воздуха до 80—90%.

Количество адсорбционно связанной влаги в материалах волокнистого строения по массе составляет 11—15%. Например, для сульфатной целлюлозы при температуре 25° С оно равно 11—12%.

В результате прочной связи адсорбционной влаги с материалом изменяются и физические свойства этой влаги. Адсорбционная влага имеет более низкую температу-

ру замерзания, бóльшую плотность и значительно меньшую диэлектрическую проницаемость. Так, например, адсорбционно связанная влага торфа имеет плотность 1,3—2,4, замерзает при температуре —70° С, диэлектрическая проницаемость ее 2,2 вместо 81 у обычной свободной воды. Электропроводность адсорбционной влаги практически равна нулю в отличие от электропроводности свободной воды.

Необходимо отметить, что не вся адсорбционно связанная влага имеет одинаковые свойства. Наиболее прочно связан с материалом мономолекулярный слой влаги (для конденсаторной бумаги он соответствует влажности 2—3%). Поэтому и свойства данного слоя влаги наиболее резко отличаются от свойств обычной воды. Последующие слои адсорбционной влаги удерживаются менее прочно, и свойства их постепенно приближаются к свойствам свободной воды. Поглощение адсорбционной влаги связано с выделением большого количества тепла.

На второй стадии увлажнения материал увлажняется в результате капиллярной конденсации паров при относительной влажности воздуха от 80 до 100%. Пар конденсируется благодаря тому, что давление насыщенных паров в капиллярах меньше давления насыщенных паров в окружающей среде. Давление насыщенных паров в капиллярах тем меньше, чем меньше их радиус. Так, например, при температуре 25° С в капилляре с радиусом $1{,}51 \cdot 10^{-7}$ см давление насыщенных паров воды на 50% ниже давления паров над плоской поверхностью, а в капилляре с радиусом $1 \cdot 10^{-5}$ см — не отличается от давления насыщенных паров над плоской поверхностью. Поэтому пары воды конденсируются сначала в более узких капиллярах. При возрастании давления пара в окружающей среде влага конденсируется и в капиллярах увеличенного радиуса, что и объясняет рост количества воды, поглощаемой при повышении относительной влажности воздуха. Дальнейшее увлажнение материала возможно лишь в случае его непосредственного соприкосновения с водой.

Процесс удаления влаги сопровождается нарушением связи ее с материалом, на что затрачивается определенная энергия.

При производстве силовых конденсаторов обычно имеют дело с сушкой бумаги, влагосодержание которой

8—10%, т. е. с удалением лишь адсорбционно связанной влаги.

Сушка материалов является теплофизическим процессом удаления поглощенной влаги, сопровождающимся изменением технологических свойств материала.

Сушку материалов используют для различных целей: улучшения структурно-механических и термических свойств (кирпича, древесины, изоляционных материалов), увеличения теплотворной способности топлива, консервирования и хранения пищевых продуктов, улучшения электрических свойств изоляционных материалов и т. д.

На практике применяют следующие способы удаления влаги из материалов: физико-химический, механический и тепловой.

Ф и з и к о - х и м и ч е с к и й с п о с о б основан на поглощении влаги такими веществами, как хлористый кальций, известь, серная кислота, силикагель и др., обладающие большой способностью поглощать влагу из окружающей среды.

В некоторых случаях этот способ применяют для удаления влаги из газов и жидкостей.

М е х а н и ч е с к и й с п о с о б основан на удалении влаги из очень влажных материалов путем прессовки, отжима, центрифугирования и применяется в текстильной, бумажной и других отраслях промышленности.

Т е п л о в о й с п о с о б основан на удалении влаги из материала конденсацией, выпариванием и испарением.

Сушку конденсацией используют преимущественно для сушки влажных газов, сопровождающейся их охлаждением. Газ пропускают через холодильник с температурой более низкой, чем точка росы влажного газа. Пары, охлаждаясь, конденсируются, в результате чего уменьшается влагосодержание газа.

Сушка выпариванием состоит в том, что влага в материале доводится до температуры кипения, соответствующей давлению окружающего воздуха. Помимо давления температура кипения зависит от характера соединения влаги с материалом. В капиллярно-пористых материалах жидкость начинает кипеть при более низкой температуре, чем жидкость в сосуде, при одинаковом барометрическом давлении. И чем меньше радиус капилляров, тем ниже температура кипения. В случае интенсивного нагрева жидкость в капиллярах приходит в состояние

интенсивного парообразования (кипения) при температуре значительно меньше 100° С даже в условиях нормального барометрического давления.

Процесс сушки может быть значительно ускорен созданием вакуума в сосуде с высушиваемым материалом. При этом снижается точка кипения влаги в материале и обеспечивается интенсивный отвод выделяющихся паров. Сушка в вакууме в сочетании с высокими температурами обеспечивает высокую степень высушиваемости материала. Так, например, силовые конденсаторы сушат при 120—130° С и давлении 1 Па и ниже.

Сушка выпариванием связана с потреблением тепла, необходимого для превращения влаги материала в пар. Для подвода тепла служит нагретый воздух или газы, нагретые разными способами металлические поверхности, соприкасающиеся с материалом или излучающие на него тепло на расстоянии, диэлектрический нагрев и др. Образующиеся пары отводятся воздухом, газами или путем откачки.

При нагреве от внешних тепловых источников полученное поверхностью материала тепло благодаря теплопроводности материала передается его внутренним слоям, т. е. происходит теплообмен. В этом случае температура поверхностных слоев материала выше температуры внутренних слоев.

Вместе с теплообменом в материале и между материалом и окружающей средой происходит влагообмен. Влага из внутренних слоев материала постепенно передвигается к наружным слоям, где она испаряется и в виде пара удаляется в атмосферу. Испарение влаги начинается с наружных слоев материала, в результате чего в течение всей сушки влажность внутренних слоев материала остается выше влажности наружных слоев. Таким перепадом влажности, действующим от центра к наружным слоям, и объясняется в основном перемещение влаги внутри материала. Влагообмен между материалом и окружающей средой вызывается разностью парциальных давлений пара у поверхности материала и в окружающей среде. Чтобы происходило испарение, парциальное давление пара в окружающей среде должно быть ниже парциального давления пара у поверхности материала. Теплообмен и влагообмен тесно связаны между собой и определяют скорость сушки, ее качество и экономичность.

§ 41. Назначение вакуумной сушки и пропитки конденсаторов

Применяемая для изготовления конденсаторов конденсаторная бумага в нормальных условиях содержит примерно 10% влаги по массе и 15—45% воздуха по объему. Бумага с таким содержанием воздуха и в особенности влаги характеризуется очень низкими электроизоляционными свойствами и поэтому не может быть применена в качестве диэлектрика в конденсаторах. По мере удаления влаги электроизоляционные свойства бумаги улучшаются.

Для сухой бумаги электрическая прочность при переменном токе достигает 30—60 В/мкм, тангенс угла диэлектрических потерь уменьшается до 0,10—0,12%, а удельное сопротивление возрастает до значений порядка 10^{15} Ом · м. Следовательно, для получения конденсаторов с высокими электрическими характеристиками из бумажного диэлектрика прежде всего должна быть полностью удалена влага. Однако удаление из диэлектрика только влаги не может обеспечить высокое качество конденсаторов, так как содержащийся в порах бумаги воздух отличается низкой по сравнению с клетчаткой электрической прочностью. Поэтому воздух, как и влага, также должен быть полностью удален из пор бумаги. Синтетические пленки не содержат влаги. Однако для повышения диэлектрических свойств необходимо удалять адсорбированную на поверхности пленки влагу и воздух, содержащиеся между слоями диэлектрика. Наиболее эффективным способом удаления влаги и воздуха является вакуумная сушка конденсаторов.

После удаления влаги и воздуха конденсаторы пропитывают жидкими диэлектриками, которые, заполняя свободные от влаги и воздуха поры бумаги и зазоры между слоями диэлектрика, в значительной степени повышают их электрическую прочность. Это происходит потому, что электрическая прочность пропитывающих жидкостей выше электрической прочности воздуха.

Кроме того, пропитывающие жидкости, обладающие более высокой по сравнению с воздухом диэлектрической проницаемостью, увеличивают диэлектрическую проницаемость бумаги. Благодаря этому емкость конденсатора после пропитки также увеличивается. При пропитке минеральным маслом с диэлектрической проницаемостью

2,2 емкость конденсатора увеличивается в 1,5—1,7 раза, а при пропитке ТХД с диэлектрической проницаемостью 5—5,9 емкость конденсатора возрастает в 2—2,5 раза.

Процесс вакуумной сушки и пропитки занимает до 80% всего технологического времени изготовления силовых конденсаторов и связан с большой затратой энергии при удалении влаги из бумаги. Этот процесс является наиболее ответственным этапом технологии производства конденсаторов, так как он главным образом определяет качество и надежность конденсаторов в эксплуатации.

§ 42. Установки для термовакуумной сушки и пропитки конденсаторов

Для сушки и пропитки конденсаторов применяют термовакуумные установки периодического действия, в которых сушка и пропитка происходят в одном и том же шкафу. Каждый раз после сушки и пропитки одной партии конденсаторов в шкаф загружается новая партия. Схема одной из промышленных установок показана на рис. 52.

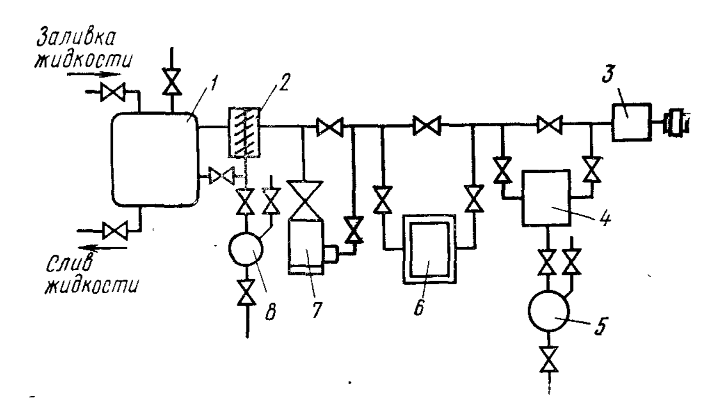


Рис. 52. Схема установки для термовакуумной сушки и пропитки конденсаторов:

1 — термовакуумный шкаф, 2 — водоохлаждаемая ловушка, 3 — вакуумный насос с масляным уплотнителем, 4 — водоохлаждаемый конденсатор влаги, 5 — влагосборник, 6 — двухроторный вакуумный насос, 7 — бустерный насос, 8 — сборник конденсата пропитывающей жидкости

Если применяют предварительную сушку конденсаторов, используют более простые установки (рис. 53). При этом в установках окончательной сушки и пропитки отпадает необходимость в конденсаторе влаги и влагосборнике.

Основным видом оборудования, входящего в состав каждой установки, являются термовакуумный шкаф для сушки и пропитки конденсаторов, вакуумные насосы, конденсаторы влаги и паров пропитывающей жидкости. Кроме того, установку оснащают различной измерительной и регулирующей аппаратурой.

Термовакуумные установки размещают в специальных зданиях и снабжают подъемно-транспортными средствами для загрузки и выгрузки конденсаторов. Цех термовакуумной сушки и пропитки конденсаторов показан на рис. 54.

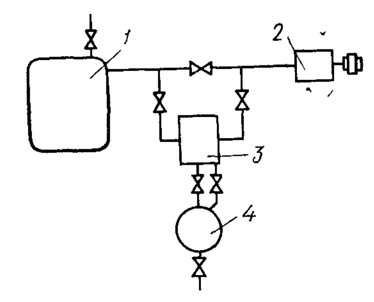


Рис. 53. Схема установки для предварительной сушки конденсаторов:

1 — термовакуумный шкаф, 2 — газобалластный вакуумный насос, 3 и 4 — конденсатор и сборник влаги

В настоящее время процесс сушки и пропитки максимально автоматизируют. Каждую такую установку снабжают пультом управления, где размещают приборы для измерения температуры и вакуума. Все приборы на пульте связывают общей схемой автоматики, которая обеспечивает непрерывный контроль за вакуумом и температурой и поддерживает их на уровне, установленном технологическим процессом. Автоматизированные установки позволяют без вмешательства обслуживающего персонала осуществлять наивыгоднейший режим сушки, а также производить заливку, пропитку, осушку и охлаждение конденсаторов перед выгрузкой.

На пультах размещают также защитную аппаратуру, позволяющую при перерыве подачи электроэнергии, теплоносителя или охлаждающей воды отключать насосы и автоматически закрывать соответствующие затворы установки. Защитная аппаратура не только предотвращает

выход из строя насосов, но и позволяет сравнительно длительное время поддерживать в шкафу установленный вакуум и температуру без нарушения режима обработки конденсаторов.

При вакуумной сушке и пропитке конденсаторов стремятся к снижению давлений до 10^{-1}—10^{-2} Па. Применение вакуума при таких остаточных давлениях позволяет

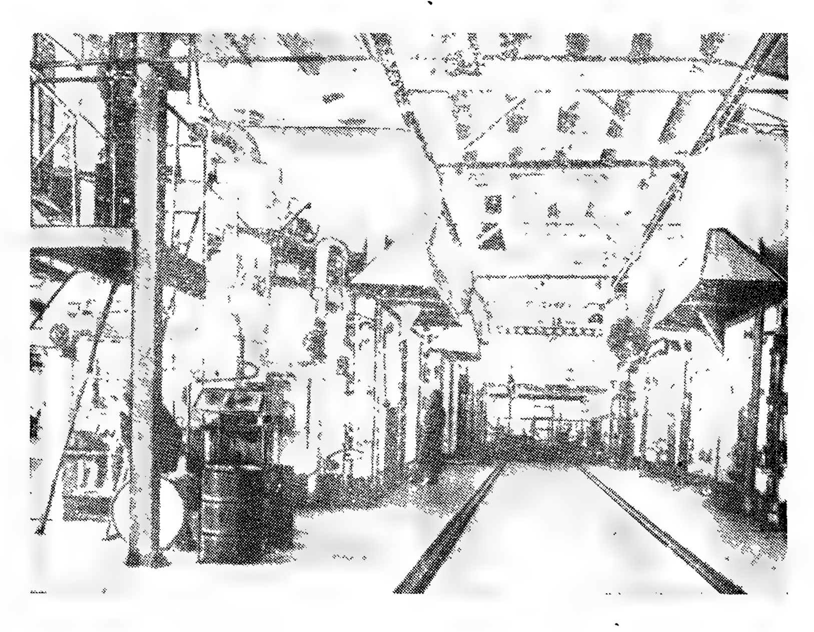


Рис. 54. Цех термовакуумной сушки и пропитки конденсаторов

получать конденсаторы с высокими и стабильными характеристиками. Необходимость получения столь высокого вакуума в установках для сушки и пропитки конденсаторов потребовала применения насосов трех видов: механических с масляным уплотнением, двухроторных и бустерных.

В настоящее время освоено производство специальных высокопроизводительных вакуумных насосов, запорной арматуры и регулирующей аппаратуры, которые должны полностью удовлетворить потребности конденсаторного производства.

§ 43. Термовакуумный шкаф

Для термовакуумной сушки и пропитки конденсаторов применяют шкафы прямоугольной формы.

На рис. 55 показан типовой прямоугольный термовакуумный шкаф с полезным объемом 12 м³, представляющий собой сварную конструкцию из листовой стали.

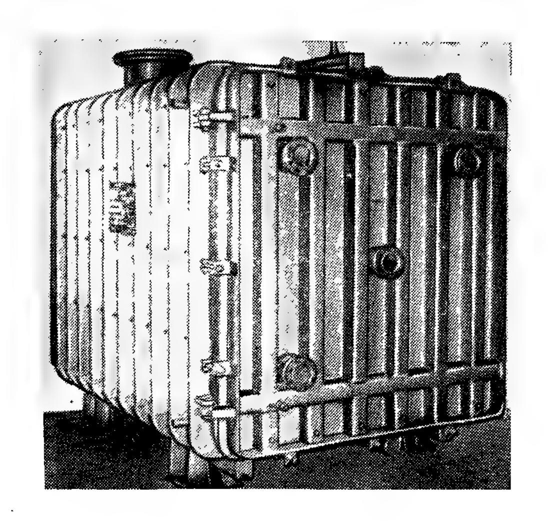


Рис. 55. Термовакуумный шкаф для сушки и пропитки конденсаторов

С одной торцовой стороны он снабжен герметически закрывающейся крышкой. В верхнюю стенку шкафа вварены ввод для подключения вакуумных насосов и патрубки для впуска пропитывающей жидкости, подключения измерительной аппаратуры (чтобы измерять температуру и вакуум) и впуска воздуха из атмосферы. В нижнюю часть шкафа вварен патрубок, через который сливают пропитывающую жидкость после пропитки конденсаторов. Для наблюдения за процессом сушки и пропитки конденсаторов шкаф имеет шесть смотровых окон, расположенных на крышке и задней стенке.

Все стенки шкафа по наружной поверхности опоясаны П-образными ребрами жесткости. Ребра жесткости герметично приварены к стенкам и вместе с ними образуют каналы, по которым пропускают теплоноситель для обо-

грева шкафа. В качестве теплоносителя применяют водяной пар или специальную жидкость.

Крышка шкафа имеет самостоятельный обогреватель. Теплоноситель для обогрева крышки подают при помощи гибких шлангов. Каналы шкафа и крышки рассчитаны на рабочее давление теплоносителя $5 \cdot 10^5$ Па и рабочую температуру 150° С.

В соответствии с требованиями Котлонадзора каналы шкафа при испытаниях должны выдерживать гидравлическое давление $9 \cdot 10^5$ Па. Их часто используют для охлаждения конденсаторов после окончания сушки перед заливкой, а также после пропитки, что позволяет сократить время процесса. Снаружи весь шкаф и крышка обмурованы теплоизоляцией.

Для загрузки конденсаторов на сушку и пропитку внутри шкафа помещают прямоугольную платформу, которая может свободно передвигаться по рельсам, укрепленным на нижней стенке шкафа. Конденсаторы можно загружать как непосредственно на платформу, так и в ванну, устанавливаемую на этой платформе. Для слива жидкости после пропитки в дне ванны предусмотрен сливной патрубок, соединяемый со сливным патрубком шкафа, что позволяет удалять пропитывающую жидкость, не открывая крышки.

Поскольку шкаф предназначен для работы при высоком вакууме (до 10^{-2} Па) и температуре до 150° С, к нему предъявляют высокие требования в отношении герметичности. Разъемные и неразъемные места уплотнений в виде фланцевых соединений и сварных швов выполняют с особой тщательностью. Большую трудность представляет обеспечение надежного уплотнения шкафа с крышкой, так как длина уплотнения по периметру составляет около 9 м.

Разъемные соединения шкафов, используемых для пропитки конденсаторов маслами, уплотняют при помощи масло- и температуростойкой резины. В шкафах, применяемых для пропитки конденсаторов хлорированными дифенилами, разъемные соединения уплотняют силиконовой резиной, так как обычная резина при соприкосновении с хлорированными дифенилами или их парами быстро разрушается и загрязняет пропитывающую жидкость. Чтобы обеспечить надежное уплотнение, резину закладывают в специально проточенные и прошлифованные пазы мест соединения. Для обеспечения сжатия

резины в пределах упругой деформации предусмотрены ограничители.

Внутренняя поверхность шкафа, а также поверхности всех деталей, находящихся внутри него (ванны, платформы), должны быть хорошо обработаны. Наличие на этих поверхностях шероховатостей и раковин затрудняет получение высокого вакуума вследствие их газовыделения.

Применяют также шкафы с электрическим обогревом. В этом случае шкафы выполняют одностенными. Нагревательные элементы в виде стальных труб расположены на внутренних поверхностях шкафа, между ними и стенками шкафа находятся листы из алюминия или белой жести для отражения лучистой энергии к конденсаторам. Шкафы с электрическим обогревом позволяют автоматически регулировать температуру. В то же время повышается электроопасность обслуживания и не обеспечивается равномерное распределение температуры в процессе сушки конденсаторов, что ограничивает использование этих шкафов.

§ 44. Газобалластный вакуумный насос ВН-6Г

В установках для термовакуумной сушки и пропитки конденсаторов из механических насосов применяют преимущественно золотниковые насосы ВН-6Г с газобалластным устройством. Их используют и самостоятельно для непосредственной откачки паровоздушной смеси из шкафа, и для создания форвакуума при работе насосов более высокого вакуума. Устройство и принцип действия золотниковых насосов показаны на рис. 56. На вал эксцентрично насажен ротор *2*, заключенный в обойму *1*, от которой отходит открытый сверху полый параллелепипед *5* с отверстиями *7* в одной из его широких боковых сторон. Во время вращения ротора обойма катится, частично проскальзывая по стенке камеры статора *8*, а параллелепипед совершает колебательные движения, скользя вверх и вниз в золотнике *6*. При таком движении обойма одновременно выполняет двойную работу — всасывает откачиваемый газ через верхнее отверстие параллелепипеда и отверстие *7* и выбрасывает его через патрубок *4* с клапаном *3*.

Насосы обычной конструкции непригодны для откачки паров воды, так как в период сжатия откачиваемые

пары полностью или частично конденсируются в камере сжатия. Конденсация паров происходит потому, что при температуре работающего насоса ($\sim 60°$ С) не могут быть достигнуты давления паровоздушной смеси, необходимые для открытия выпускного клапана до образования насыщенных паров.

Образующаяся вода остается в насосе и, увлажняя масло, снижает его вязкость. Увлажненное (в виде эмульсии) масло проникает на сторону впускного патрубка и, испаряясь, снова попадает в сосуд, из которого производится откачка. Между упругостью паров воды в насосе и в сосуде устанавливается равновесие, которое приводит к прекращению откачки. Кроме того, вода растворяет и активирует кислоты, содержащиеся в масле, в результате происходит окисление и осмоление масла и металлических деталей насоса, что вызывает снижение предельного вакуума насоса и выход из строя самого насоса. Поэтому механические насосы, предназначенные для откачки газов с парами воды, снабжаются газобалластными устройствами и называются газобалластными, конденсация откачиваемого пара в которых предотвращается тем, что через специальное отверстие в камеру сжатия вводится воздух из атмосферы (балластный газ), создающий давление, необходимое для открытия выпускного клапана до наступления конденсации паров.

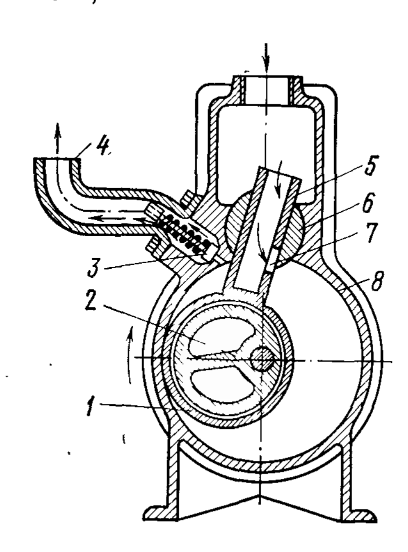


Рис. 56. Устройство золотникового насоса

Атмосферный воздух вводится в камеру в момент начала периода сжатия. При сжатии давление в камере будет складываться из парциальных давлений откачиваемых паров и газов и давления балластного газа. Количество впускаемого воздуха регулируется специальным дозирующим устройством таким образом, чтобы давление, достаточное для открытия выпускного клапана, достигалось прежде, чем парциальное давление паров станет равным давлению насыщения.

Насос ВН-6Г представляет собой вращательный двухроторный (двухплунжерный) параллельного действия насос с масляным уплотнением, водяным охлаждением и принудительной смазкой, который состоит из трех основных частей, смонтированных на общей чугунной фундаментной плите: самого насоса, электродвигателя и бака для масла с отстойником.

Во избежание конденсации паров воды при их сжатии насос снабжен газобалластным устройством для впуска атмосферного воздуха (балластного газа) в роторные камеры.

Стенки корпуса насоса выполнены полыми для подачи охлаждающей воды. Вода подается в нижнюю часть корпуса, а сливается из верхней части. Трубопровод, подводящий охлаждающую воду, снабжен вентилем для регулирования подачи воды.

Бак для масла предназначен для принудительной подачи масла в насос и отделения откачиваемого насосом газа от масла. Устройство насосов ВН-6Г подробно приводится в техническом описании и инструкции по эксплуатации.

Основные характеристики насоса ВН-6Г приведены в табл. 10. Газобалластное устройство позволяет насосу перекачивать пары воды с давлением на входе в насос до 670 Па. Насос способен перекачивать в 1 ч такое количество паров, которое соответствует 2,5 л воды.

Для герметизации уплотнения и смазки механизмов насоса используют масло ВМ-4. Расход охлаждающей воды с температурой на входе в насос от 8 до 18° С составляет 700—1000 л/ч.

Приводом насоса служит асинхронный электродвигатель трехфазного переменного тока с короткозамкнутым ротором на напряжение сети 220/380 В. Потребляемая насосом мощность (*1*) и средняя быстрота откачки (*2*) в зависимости от создаваемого им вакуума показаны на рис. 57.

При непрерывной откачке газа и паровоздушной смеси от давления 10^5 Па (атмосферного) объем откачиваемого сосуда может быть до 20 м^3, если натекание атмосферного воздуха в сосуд отсутствует. В случае откачки из сосуда емкостью более 20 м^3 давление во входном от-

Таблица 10. **Основные технические характеристики газобалластных вакуумных насосов**

Характеристика	Марка насоса					
	ВН-4Г	ВН-6Г	НВЗ-75	НВЗ-50Д	НВЗ-150	НВЗ-100Д
Быстрота откачки в интервале давлений 10^5—10^2 Па, л/с	59—40	155—117	75	50	150	100
Предельное остаточное давление, Па:						
полное	—	—	6,7	6,7×$\times 10^{-1}$	6,7	6,7.10–
парциальное по воздуху	6,7×$\times 10^{-1}$	1,3	2,7×$\times 10^{-1}$	2,7×$\times 10^{-3}$	2,7×10^{-1}	2,7·10^{-3}
с наибольшим напуском газобалласта	133	133	6,7	6,7	400	6,7
паров воды на входе	670	670	2350	2350	2350	2350
Количество масла, заливаемого в насос, л	17	55	12	10	24	20
Расход охлаждающей воды, л/ч	300	1000	600	600	1300	1300
Мощность двигателя, кВт	7	20	8,5	6	12,0	9,5
Размеры, мм:						
длина	1315	1520	1430	1430	1720	1720
ширина	770	980	650	650	940	940
высота	1320	1790	1165	1165	1075	1075
Масса, кг	617	1490	700	700	970	1000

верстии насоса может превышать 13 кПа в течение не более 5 мин. Длительная непрерывная откачка при давлении во всасывающем отверстии выше 13 кПа не допускается.

Если откачивают сосуды больших объемов, давление во входном отверстии в допустимых пределах обычно регулируют постепенным открыванием вакуумных клапанов, устанавливаемых между насосом и сосудом.

Пуск насоса необходимо производить в следующем порядке:

проверить и убедиться, что вентили масломерного стекла и верхний вентиль отстойника открыты (масла в баке достаточно, если его уровень в масломерном стекле виден в пределах прорези кожуха);

открыть вентиль трубопровода, подводящего к насосу охлаждающую воду;

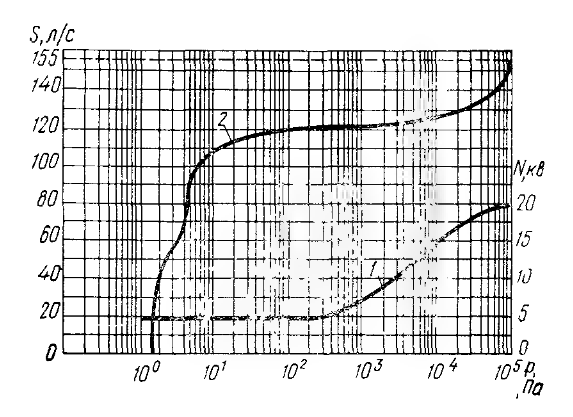


Рис. 57. Зависимость потребляемой насосом ВН-6Г мощности (*1*) и быстроты откачки от давления (*2*)

включить электродвигатель насоса, после чего не позже чем через минуту открыть вентиль масляного трубопровода; если вентиль масляного трубопровода был открыт и масло из бака натекло в насос, он не может быть пущен без предварительного удаления этого масла (для удаления избытка масла необходимо открыть вентиль масляного трубопровода и повернуть шкив насоса на 10—15 полных оборотов вручную усилием двух человек с помощью рычага длиной 1200 мм; масло из насоса будет поступать в бак, что можно проверить по повышению уровня масла в масломерном стекле); только после перекачки избытка масла из насоса в бак включают электродвигатель;

открыть дозатор, повернув его маховичок против часовой стрелки (количество делений, на которое должен быть повернут маховичок, определяется давлением откачиваемых паров воды; при давлении паров воды на входе в насос 100—670 Па маховичок повертывают на все 10 делений, т. е. на один полный оборот);

открыть клапан трубопровода, соединяющего насос с откачиваемой системой (клапан открывают через 1 ч после пуска насоса, чтобы обеспечить его прогрев и исключить возможность конденсации паров воды в начале работы).

Остановку насоса необходимо производить в такой последовательности:

перекрыть клапан трубопровода, соединяющего насос с откачиваемой системой;

перекрыть дозатор, т. е. повернуть его маховичок по часовой стрелке до отказа;

перекрыть вентиль масляного трубопровода и не позже чем через 30 с остановить насос (выключить электродвигатель);

перекрыть вентиль трубопровода, подводящего воду к насосу.

Соблюдение указанного порядка пуска и остановки насоса во избежание аварии является обязательным. Кроме того, в процессе работы насоса необходимо:

постоянно содержать насос в чистоте;

не допускать попадания твердых частиц в насос, в противном случае он может быть выведен из строя;

систематически следить за уровнем масла в баке и периодически заменять его, так как с течением времени масло загрязняется и увлажняется;

периодически промывать бак; для удобства снимают крышку бака и разбирают маслоотбойник;

систематически следить за тем, чтобы вентили масломерного стекла всегда были открыты (иначе уровень масла в масломерном стекле не будет соответствовать уровню масла в баке, что может привести к аварии);

систематически следить за охлаждением, не допуская перегрева насоса (подача воды в насос должна быть отрегулирована так, чтобы температура масла в баке не превышала 80° С);

проверять состояние ремней и в случае необходимости заменять их новыми;

своевременно открывать и устанавливать на необходимое деление дозатор (при откачке паров воды во избежание увлажнения масла в насосе) и не реже одного раза в день промывать сетку на его впускном отверстии; в случае увлажнения масла в насосе, что обнаруживают по ухудшению вакуума и по изменению внешнего вида масла, надо открыть дозатор полностью (ускорить удаление воды из масла можно перекрытием клапана на трубопроводе, соединяющем насос с откачиваемой системой, при работе насоса на себя с полностью открытым дозатором); об удалении воды из масла можно судить по восстановлению остаточного давления, которое при работе насоса на себя при полностью открытом дозаторе не должно превышать 130 Па;

периодически сливать воду из отстойника; вентиль для слива воды из отстойника надо открывать, перекрыв предварительно его верхний вентиль (в противном случае в открытый нижний вентиль будет поступать наружный воздух и, перемешивая масло с водой, увлекать воду из отстойника в бак, что может привести к ухудшению вакуума в системе);

периодически с помощью металлического стержня прослушивать работу насоса; при обнаружении биений во избежание аварии необходимо остановить насос для осмотра.

В последнее время разработана новая серия одно- и двухступенчатых газобалластных насосов НВЗ (насос вакуумный золотниковый), изготовленных взамен насосов ВН-4Г и ВН-6Г. Технические характеристики этих насосов приведены также в табл. 10. В отличие от ВН-4Г и ВН-6Г насосы новой серии допускают парциальное давление паров воды на входе в насос 2,35 кПа вместо 0,67 кПа. Эти насосы унифицированы, в них улучшены уплотнения между камерами и система смазки, а также уменьшены масса и габариты. Насосы в двухступенчатом варианте позволяют получить предельное остаточное давление по воздуху на два порядка ниже.

§ 45. Двухроторные вакуумные насосы

В процессе вакуумной сушки конденсаторов, когда работа газобалластных вакуумных насосов становится неэффективной, используют двухроторные вакуумные насосы, устройство которых показано на рис. 58. Рабочая камера *4* насосов образуется корпусом *3* и профильными роторами *1*, синхронно вращающимися в противоположных направлениях.

Форма и синхронное вращение роторов подобраны таким образом, чтобы между самими роторами, а также между роторами и стенками корпуса постоянно сохранялся небольшой зазор (0,1—0,15 мм), не уплотняемый

маслом. При вращении роторы поочередно захватывают порцию газа со стороны впускного отверстия *5* и выталкивают его в выпускное отверстие *2*.

Чтобы через зазоры в откачиваемый объем не проходило большое количество газа, на стороне выпускного отверстия создают форвакуум. Работа насосов становится эффективной, если на стороне выпускного отверстия достигается остаточное давление не выше 100 Па, поскольку длина свободного пути молекул газа становится сравнима с шириной зазоров или выше ее. В качестве форвакуумных насосов применяют механические вакуумные насосы. Двухроторные насосы допускают большую частоту вращения (до 3000 об/мин), имеют быстроту действия до 5000 л/с и при достаточно низком выпускном давлении позволяют достигать предельного остаточного давления 1—0,1 Па.

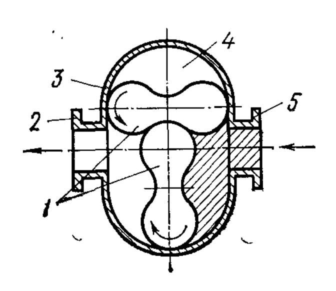


Рис. 58. Устройство двухроторного объемно-молекулярного насоса

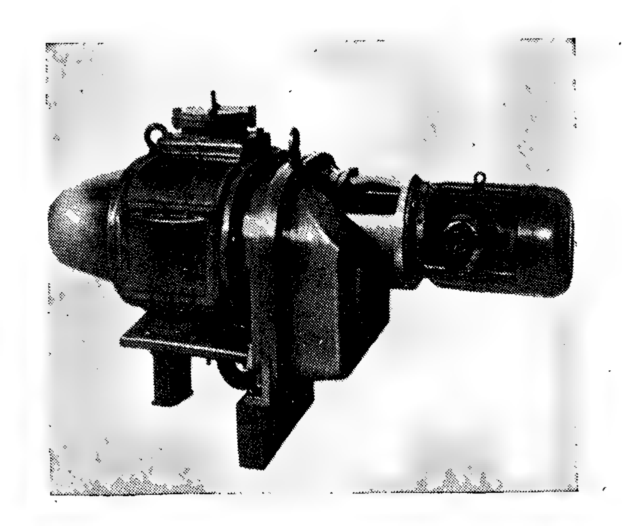


Рис. 59. Двухроторный вакуумный насос 6ДВН-500

При вакуумной сушке конденсаторов используют насосы 6ДВН-500 (рис. 59) и 6ДВН-1500 для откачки паровоздушной смеси в шкафах при давлении от 400 до 10 Па, техническая характеристика которых приведена ниже. Для создания форвакуума применяют насос ВН-6Г.

Техническая характеристика насосов

	6ДВН-1500	6ДВН-500
Быстрота откачки при входном давлении 100 Па не менее, л/с	1500	500
Предельное остаточное давление, Па	0,5	0,5
Мощность электродвигателя, кВт	7,1	3,6
Расход охлаждающей воды не более, л/ч	720	360
Марка смазочного масла	ВМ-4	ВМ-4
Масса, кг	900	620

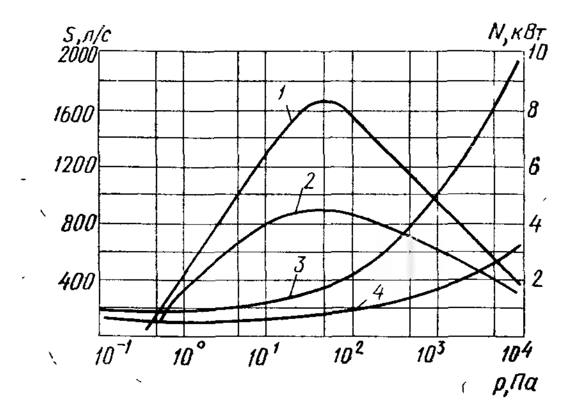


Рис. 60. Зависимость быстроты откачки (кривые *1* и *2*) и потребляемой мощности (кривые *3* и *4*) от давления:

1 и *3* — для насоса 6ДВН-1500, *2* и *4* — для насоса 6ДВН-500

Зависимость потребляемой мощности и быстроты откачки насосов от давления приведена на рис. 60. Обслуживание насоса во время работы сводится к наблюдению за давлением на входе в него, уровнями масла, подачей охлаждающей воды и характером его шума. Резкое изменение шума в насосе свидетельствует о неисправностях.

§ 46. Бустерные насосы

Бустерный — это средневакуумный пароструйный насос, работающий на использовании откачивающего действия струи пара рабочей жидкости как за счет диффузии газа в струю, так и благодаря турбулентно-вязкостному увлечению газа.

На рис. 61 показано устройство двухступенчатого пароструйного насоса. Рабочая жидкость *7* в испарителе нагревается подогревателем *8*. Образующийся пар поднимается по паропроводам *5* и *6* и со скоростью, превышающей скорость звука, через зонтичные сопла первой *2* и второй *4* ступеней выходит в виде струй, направленных под углом к охлаждаемой стенке *3* насоса.

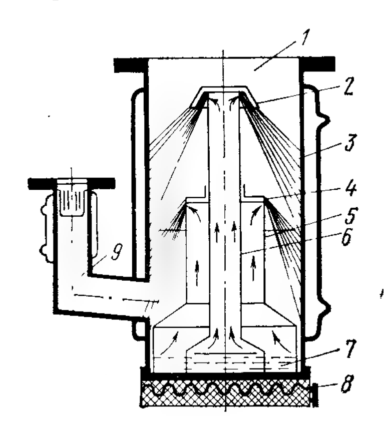


Рис. 61. Устройство диффузионного пароструйного насоса

Насос соединяется с сосудом впускным отверстием *1*, через которое молекулы откачиваемого газа диффундируют в струю пара и уносятся ею. Струя пара вместе с захваченными молекулами газа направляется на стенки, охлаждаемые проточной водой, где пары конденсируются и каплями стекают в испаритель. Таким образом в насосе обеспечена непрерывная циркуляция рабочей жидкости. Газ, увлеченный первой струей пара, проникает во вторую струю, действие которой аналогично первой. Из второй струи газ выбрасывается через выпускной патрубок *9* и удаляется обычно механическим насосом предварительного разрежения. Чтобы пары рабочей жидкости не проходили вместе с откачиваемым газом через выпускной патрубок, он также охлаждается проточной водой.

Предельное остаточное давление, быстрота действия и другие параметры насосов зависят от их конструкции и свойств рабочих жидкостей, в качестве которых применяют ртуть или органические масла. Современные пароструйные насосы обеспечивают скорость откачки от 100 до 10 000 л/с и выше.

Из бустерных насосов в термовакуумных установках применяют многоступенчатые насосы БН-2000 и БН-4500, предназначенные для удаления остатков влаги и газов при вакуумной сушке и пропитке конденсаторов. В последнее время разработаны новые бустерные насосы НВБМ (насос вакуумный бустерный паромасляный) взамен существующих. Техническая характеристика этих насосов приведена ниже.

Техническая характеристика насосов

	БН-4500	БН-2000	НВБМ-5	НВБМ-2,5
Предельное остаточное давление, Па	$5\cdot10^{-2}$	$5\cdot10^{-2}$	$6\cdot10^{-4}$	$6\cdot10^{-4}$
Быстрота откачки воздуха при давлении $1\cdot10^{-1}$ Па, л/с	4500	2000	5000	2500
Наибольшее выпускное давление, Па	133	270	200	200
Количество рабочей жидкости, заливаемой в насос, л	20	16	50	30
Рекомендуемая рабочая жидкость	Масло Д1-Г	ВМ-3	ВМ-3	ВМ-3
Расход охлаждающей воды при температуре на входе 15—20° С, л/ч	1100	450	600	360
Рекомендуемый механический насос предварительного разрежения	ВН-6Г	ВН-6Г	ВН-6Г	ВН-6Г
Мощность электронагревателя при напряжении 380 В, кВт	25	7,5	12	6
Схема соединения электронагревателя	звезда	однофазная	—	—
Габаритные размеры: высота, мм	2112	1877	—	—
площадь в плане, мм²	940×800	929×666	—	—
Масса, кг	400	266	390	235
Внешние диаметры, мм, присоединительных фланцев: входного	600	340	—	—
выходного	245	170	—	—

Насосы БН-2000 и БН-4500 включают в работу после того, как из конденсаторов механическими насосами предварительно удаляют основную массу влаги и остаточное давление в шкафу доведут до 10—30 Па.

При использовании бустерных насосов возможно получать в шкафах остаточное давление в конце сушки 1—0,1 Па и, следовательно, ускорять и значительно улучшать сушку конденсаторов. Зависимость быстроты откачки от создаваемого насосом остаточного давления показана на рис. 62.

Для работы насос устанавливают вертикально. Перед установкой его необходимо полностью разобрать, тщательно промыть все детали паропровода, маслоотра-

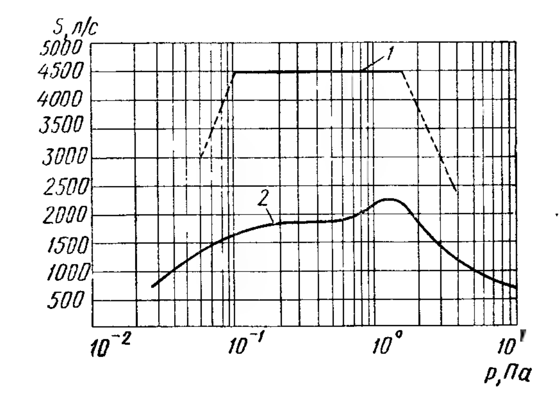


Рис. 62. Зависимость быстроты откачки насосов от давления:
1 — БН-4500, 2 — БН-2000

жателя, ловушки и внутренней части корпуса четыреххлористым углеродом или бензином высшего качества и просушить. На внутренних стенках корпуса и деталях насоса не должно оставаться ворсинок от обтирочного материала. Порядок разборки и сборки насоса указывается в инструкции завода-изготовителя.

После сборки насос присоединяют к вакуумной системе и заливают рабочей жидкостью. В случае применения насоса для вакуумной сушки и пропитки конденсаторов в качестве рабочей используют пропитывающую жидкость.

Проточную воду для охлаждения насоса подводят так, чтобы обеспечить полное омывание охлаждаемых стенок. Для этого трубки, подводящие воду, присоединяют к нижним штуцерам корпуса и штуцеру масляной ловушки насоса.

Для контроля мощности, потребляемой нагревателем насоса, в цепи нагревателя устанавливают электроизмерительные приборы (амперметры и вольтметры).

Перед пуском насос прежде всего должен быть проверен на натекание. С помощью механического насоса создают в нем при закрытом входном клапане разрежение от 10 до 1 Па. Затем, перекрыв клапан со стороны выпускного патрубка, проверяют насос на натекание, которое не должно превышать 0,25 л·Па/с. При обнаружении течь необходимо устранить.

Насос включают в работу при остаточном давлении в откачиваемой системе не более 100 Па. Сначала открывают клапаны со стороны входного и выходного фланцев насоса. Затем включают водяное охлаждение и лишь после этого подсоединяют электронагреватель к сети. В первые несколько минут после включения электронагревателя вакуум в системе может ухудшиться вследствие выделения газов, растворенных в рабочей жидкости. Выделение газов из рабочей жидкости происходит особенно сильно, если насос длительное время сообщался с атмосферой, так как рабочая жидкость в холодном состоянии способна растворять достаточно большое количество воздуха.

Если к электронагревателю подводится требуемая мощность и в вакуумной системе создан необходимый форвакуум, насос начинает работать через 30—40 мин после включения электронагревателя. Момент начала работы насоса может быть определен по снижению давления в откачиваемой системе.

В процессе работы насоса необходимо:

следить за величиной остаточного давления в откачиваемой системе, не допускать резкого повышения давления или попадания атмосферного воздуха в горячий насос; попадание воздуха в работающий насос приводит к быстрому окислению рабочей жидкости, что вызывает нарушение режима работы и ухудшение предельного остаточного давления;

следить за температурой охлаждающей воды на выходе из системы охлаждения насоса, которая не должна превышать 30° С;

следить по показаниям амперметров за потреблением тока электронагревателем.

При нарушениях режима работы насос необходимо немедленно отключить.

Насос останавливают в следующем порядке: перекрывают клапан со стороны откачиваемого сосуда; выключают электронагреватель; корпус насоса охлаждают так, чтобы температура рабочей жидкости в испарителе снизилась до 50—60° С; перекрывают клапан со стороны выпускного патрубка и в случае необходимости выключают механический насос; прекращают подачу охлаждающей воды. Во избежание аварии порядок пуска и остановки насоса необходимо строго соблюдать.

При продолжительной непрерывной работе насоса предельное остаточное давление может ухудшиться вследствие разложения или загрязнения рабочей жидкости. В этом случае, а также в случае попадания атмосферного воздуха в горячий насос при авариях или из-за недосмотра насос следует отключить от откачиваемого сосуда и разобрать. Все полости и детали насоса необходимо промыть и залить его новой рабочей жидкостью.

§ 47. Конденсаторы влаги и паров пропитывающей жидкости

Вакуумные насосы, очень хорошо удаляя газы из вакуумной системы, не обладают достаточной эффективностью для удаления паров воды и других жидкостей. Рассмотренный ранее насос ВН-6Г с газобалластным устройством может перекачивать пары воды в пересчете на воду только в количестве 2,5 л/ч. Однако выделение влаги при сушке конденсаторов во много раз превышает скорость откачки ее насосом.

Масса бумаги конденсаторов, загружаемых в шкаф объемом 12 м³, составляет 1,5—2 т. Из этого количества бумаги при ее исходной влажности 8—10% за сравнительно короткое время удаляется до 100—150 л воды. В отдельные моменты сушки интенсивность выделения влаги составляет до 30 л/ч, что в переводе на пары воды при давлении 130 Па соответствует 30 000 м³/ч. Для откачки такого количества паров воды понадобилось бы установить 7—8 насосов ВН-6Г.

Чтобы обеспечить необходимую скорость откачки паров воды и ограничить в допустимых пределах количество паров, поступающих в вакуумный насос, между сушильным шкафом и насосом устанавливают конденсатор влаги. В нем конденсируется основная масса паров воды, которые выделяются из конденсаторной бумаги в процессе сушки. Когда основная масса воды выделится из бумаги, конденсатор обычно с помощью клапанов отключают от вакуумной системы и дальнейшую откачку производят насосом.

Для конденсации паров воды при вакуумной сушке конденсаторов используют кожухотрубные конденсаторы влаги с водяным охлаждением. На рис. 63 показан вертикальный одноходовой кожухотрубный конденсатор влаги, представляющий собой цилиндрический кожух *6*, в котором размещена трубчатка *10*, состоящая из двух трубных решеток *2* и пучка трубок *1*, развальцованных в решетках. С торцов кожух конденсатора ограничен днищами *4* и *11* с патрубками *3* и *9* для подключения к вакуумной системе и патрубком *12* для подключения к сборнику конденсата. Чтобы подводить и отводить охлаждающую воду, в кожух вварены патрубки *5*. Отдельные элементы конденсатора соединяются фланцами *8* на болтах. Для установки конденсатора служат лапы *7*, приваренные к кожуху.

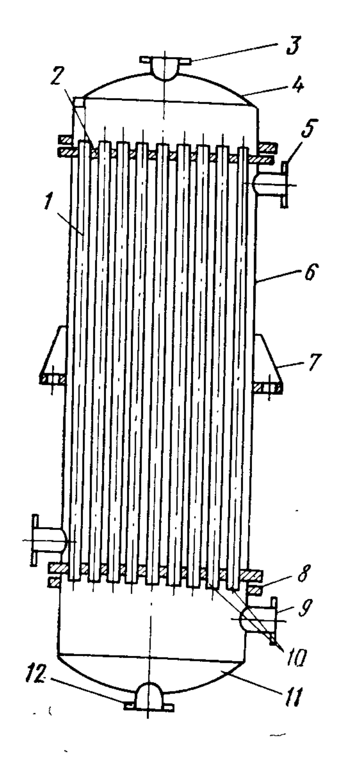


Рис. 63. Кожухотрубный конденсатор влаги

Конденсация паров воды в конденсаторе происходит следующим образом. При откачке насосом пары воды, выделяющиеся во время сушки конденсаторов, из шкафа поступают в конденсатор влаги. Проходя через омываемые холодной водой трубки, пары охлаждаются. Первоначальное охлаждение ненасыщенных паров приводит к образованию насыщенных, а дальнейшее охлаждение — к конденсации насыщенных паров в жидкость и уменьшению их плотности и давления. Конденсирую-

щиеся пары осаждаются на поверхности трубок в виде пленки, и конденсат стекает на дно конденсатора влаги, а затем в сборник.

При прохождении через конденсатор влаги конденсируются не все поступающие пары воды. Давление и плотность насыщенных неконденсирующихся паров воды в конденсаторе определяется температурой, до которой они были охлаждены водой. Например, при температуре 10° С давление насыщенных паров 1,21 кПа, а их плотность — 9,39 г/м³. Несконденсировавшиеся насыщенные пары вместе с газами откачиваются вакуумным насосом.

Учитывая, что вакуумный насос ВН-6Г, применяемый для сушки конденсаторов, может, не увлажняясь, перекачивать пары воды при давлении не выше 670 Па, пары воды в конденсаторе влаги должны быть охлаждены до температуры 0° С. Вакуумные насосы новой серии (ВНЗ), допускающие давление паров воды на входе до 2,3 кПа, позволяют использовать для охлаждения конденсаторов воду с температурой до 20° С.

Во время конденсации паров воды выделяется большое количество тепла, которое было затрачено на испарение воды при сушке конденсаторов. Поэтому для обеспечения конденсации паров необходимо постоянно отводить все выделяющееся тепло, что достигается непрерывным охлаждением наружной поверхности трубок проточной водой.

Тепло, выделяемое при конденсации паров, воспринимается трубками и передается охлаждающей среде, которая, нагреваясь, уносит его из конденсатора. Чтобы обеспечить лучшую теплопередачу, откачиваемые пары и охлаждающая вода в конденсаторе движутся в противоположных направлениях (охлаждающая вода — снизу вверх, а пары — сверху вниз).

Помимо обычной воды для охлаждения конденсаторов используют предварительно охлажденные жидкости (рассолы), получаемые либо в ледосоляных, либо в парокомпрессионных установках (чаще всего аммиачных). Рассолы применяют в тех случаях, когда обычная водопроводная вода не обеспечивает необходимого охлаждения конденсатора влаги, например, в летний период.

Для сбора конденсата конденсаторы влаги снабжены влагосборниками. Влагосборник представляет собой обычный цилиндрический стальной бачок, с торцовых

сторон которого вварены патрубки с вентилями для слива конденсата. Для наблюдения за наполнением сборника влагой в стенке цилиндрической части бачка, с противоположных сторон, встроены два смотровых окна. Верхним своим патрубком сборник герметично присоединяется к нижнему патрубку конденсатора.

Во время работы конденсатора нижний клапан сборника постоянно закрыт, а верхний открыт для стока конденсата в сборник. Перед сливом воды из сборника во избежание нарушения вакуума в системе верхний клапан закрывают и слив производят через нижний. После слива воды закрывают нижний клапан и только потом открывают верхний.

При откачке паров воды из шкафа во избежание увлажнения насоса необходимо следить за тем, чтобы температура охлаждаемой воды (жидкости) на выходе из конденсатора влаги не превышала допустимой. Это достигается регулировкой количества подаваемой в конденсатор воды. Однако в период наибольшего выделения паров при сушке конденсаторов даже максимальная подача охлаждающей воды не обеспечивает отвода тепла без значительного превышения допустимой температуры воды на выходе из конденсатора влаги. Поэтому во избежание попадания паров воды в насос в недопустимом количестве необходимо перекрывать клапан на входе насоса так, чтобы давление паровоздушной смеси не превышало допустимого давления паров воды на входе (для насосов ВН-6Г — 670 Па, для насосов ВНЗ—2,3 кПа).

Кроме конденсаторов влаги в установках для вакуумной сушки и пропитки конденсаторов часто применяют водоохлаждаемые ловушки для осаждения паров пропитывающих жидкостей, устанавливаемые в рассечку вакуумной линии при выходе ее из шкафа.

Ловушки служат для того, чтобы предотвратить попадание паров пропитывающей жидкости в насос при заливке и пропитке конденсаторов, а также при их осушке после слива пропитывающей жидкости из шкафа. Ловушки выполняют в виде цилиндрического бачка, в который помещают змеевик для пропускания охлаждающей воды. Для стока конденсата ловушки, так же как и конденсаторы влаги, снабжают сборниками.

При обслуживании конденсаторов влаги и водоохлаждаемых ловушек наблюдают за плотностью фланцевых

соединений и клапанов, а также периодически очищают поверхности теплопередач (трубок) от пропитывающей жидкости и отложений солей воды, ухудшающих теплопередачу.

В процессе вакуумной сушки и пропитки конденсаторов неизбежны частичная конденсация паров воды и пропитывающей жидкости в вакуумных трубопроводах и попадание конденсата в механические вакуумные насосы. Чтобы предотвратить это, на входе и выходе насосов устанавливают неохлаждаемые ловушки, которые одновременно защищают насосы и от попадания в них различных твердых частиц (окалины и т. д.).

Неохлаждаемая ловушка представляет собой цилиндрический бачок, в дно которого вварен патрубок с клапаном для периодического слива конденсата. Вход вакуумного трубопровода вваривают в верхнюю торцовую часть бачка, а выход — в цилиндрическую.

§ 48. Регулирующая аппаратура

Вакуумный клапан представляет собой устройство для регулирования или полного прекращения потока газа в вакуумной системе. Вакуумный клапан, позволяющий соединять и разобщать элементы вакуумной системы, называют вакуумным затвором.

По конструкции вакуумные клапаны во многом напоминают вентили, применяемые в водопроводных и газовых системах, однако отличаются от последних лучшей герметичностью и наличием проходного отверстия большого размера, не оказывающего заметного влияния на пропускную способность трубопровода.

В установках вакуумной сушки и пропитки конденсаторов преимущественно применяют сильфонные клапаны, устройство которого приведено на рис. 64. К вакуумному трубопроводу клапан присоединяется фланцем *9* и уплотняется с помощью резиновых прокладок *8*. Газ протекает из одного участка трубопровода в другой через проходное отверстие *10*, диаметр которого примерно равен диаметру отверстий во фланцах. Внутри вентиля имеется подвижный шток *5*, упирающийся в клапан *2* с уплотняющей прокладкой *1*. Шток передвигается в крышке *6* по резьбе при повороте маховика *4*. Место соединения крышки с корпусом уплотнено прокладкой *3*. Проникновение воздуха внутрь по резьбе штока и крышки также исключается благодаря металлическому сильфону *7*, припаянному к крышке и клапану *2*.

В вакуумных затворах проходное отверстие уплотняется с помощью заслонки. Перемещение заслонки при закрытии, последующем запирании и уплотнении ее к уплотняющей прокладке, расположенной вокруг проходного отверстия, осуществляется рычажно - эксцентриковым механизмом. Управление затвором производят поворотом эксцентрикового вала, связанного с заслонкой. Вал в корпусе затвора уплотняется двумя резиновыми прокладками, между которыми заливается вакуумное масло.

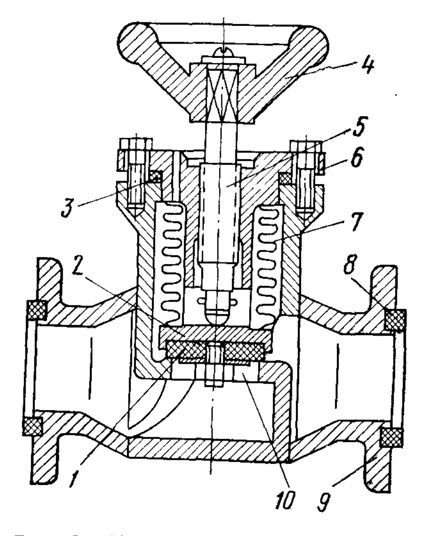
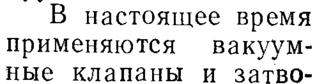


Рис. 64. Устройство сильфонного вакуумного клапана


В настоящее время применяются вакуумные клапаны и затворы с дистанционным приводом, позволяющие автоматизировать процессы термовакуумной обработки конденсаторов.

§ 49. Контрольно-измерительные приборы

Основными параметрами, которые необходимо контролировать в процессе вакуумной сушки и пропитки конденсаторов, являются температура и вакуум.

Для контроля температуры применяют термометры сопротивления. Измерение температуры этими термометрами основано на изменении электрического сопротивления проводника при его нагревании или охлаждении. Термометр сопротивления состоит из тонкой металлической проволоки, обычно из платины, намотанной на специальный каркас. Эта проволока является чувствительным элементом термометра и для предохранения от внешних воздействий заключена в защитную

арматуру. Чтобы определить температуру той или иной среды, термометр сопротивления погружают в эту среду. Зная зависимость сопротивления от температуры, можно по изменению сопротивления судить о температуре измеряемой среды.

Электрическое сопротивление термометров обычно измеряют с помощью потенциометров и уравновешенных четырехплечих мостов, в одно из плеч которых включают термометр сопротивления.

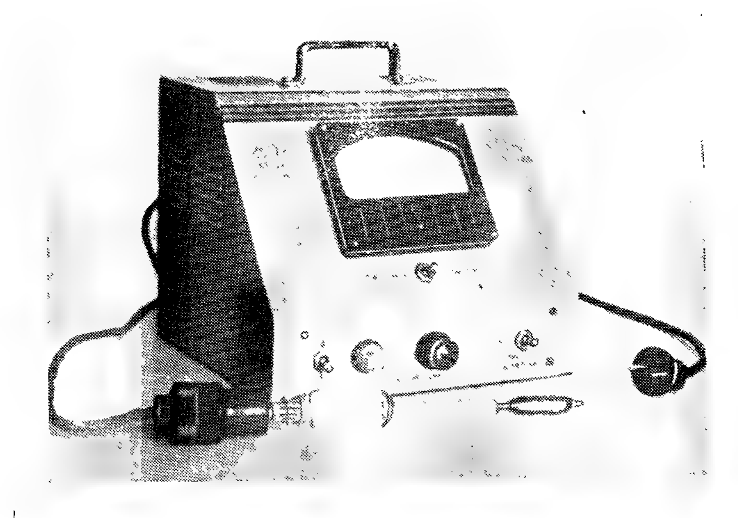


Рис. 65. Термопарный маиометр ВТ-2

Для измерения и записи температуры в процессе вакуумной сушки и пропитки широко используют электронные автоматические уравновешенные мосты постоянного и переменного тока ЭМП-109М1 и ЭМП-209М1, измеряющие и записывающие одновременно от одной до 24 величин.

Если приборы предназначают не только для измерения и записи температуры, но и для ее регулирования, в них встраивают специальные электрические и пневматические регулирующие устройства. Принцип действия устройство и правила обслуживания приборов подробно приводятся в специальных инструкциях.

Для контроля давления в пределах от атмосферного до 150 Па служат механические **стрелочные** **мано**-

метры. При измерениях более низких давлений (от 150 до 10^{-1} Па) используют главным образом **термопарные манометры** ВТ-2 (рис. 65) и ВТ-3. Термопарный манометр ВТ-2 выполняют на два предела

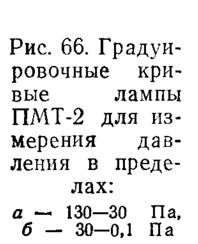
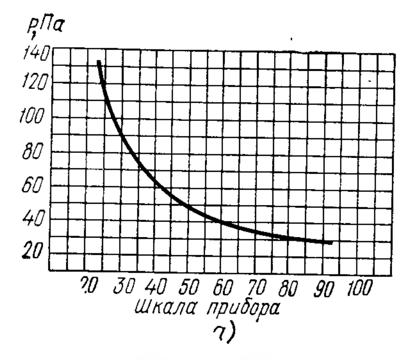
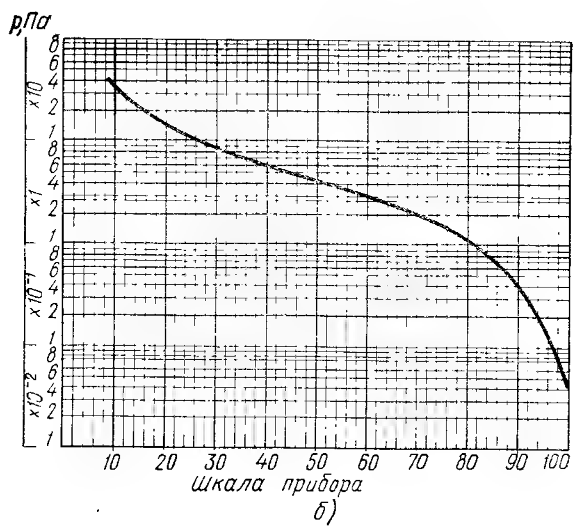


Рис. 66. Градуировочные кривые лампы ПМТ-2 для измерения давления в пределах:
а — 130—30 Па,
б — 30—0,1 Па





измерения и снабжают манометрической лампой (термопарой) ПМТ-2 для измерения давлений от 130 до 30 Па (первый предел) и от 30 до 0,1 Па (второй предел). При использовании лампы ПМТ-2 необходимо применять специальные градуировочные кривые (рис. 66, *а, б*), для чего на шкалу манометра наносят равномерные давления от 0 до 100. Правила пользования термо-

парным манометром ВТ-2 подробно изложены в инструкциях по эксплуатации приборов.

Для измерения вакуума применяют также манометры ВСБ, позволяющие измерять давления от 4 кПа до 0,1 Па.

§ 50. Подготовка установки для сушки и пропитки конденсаторов

Для обеспечения безаварийной работы, создания оптимальных условий сушки и пропитки и получения конденсаторов высокого качества очень большое значение имеет подготовка установки, а также конденсаторов для вакуумной сушки и пропитки.

Подготовка установки состоит из проверки исправности как отдельных видов оборудования, так и установки в целом. Основное внимание уделяется обеспечению надежной герметичности всей вакуумной системы, а также чистоты шкафа и загружаемых деталей.

В начале проверяют исправность механического насоса ВН-6Г, для чего его включают, чтобы проверить работу на себя с полностью закрытым дозатором. Перед включением насоса из ловушек, установленных на его входе и выходе, предварительно сливают конденсат влаги и пропитывающей жидкости. Исправный насос должен обеспечивать давление не более 6—7 Па, которое измеряют термопарным манометром.

После проверки насоса необходимо убедиться в отсутствии воды в конденсаторе влаги и пропитывающей жидкости в охлаждаемой ловушке. Остатки влаги и пропитывающей жидкости из них должны быть слиты. Затем производится подготовка термовакуумного шкафа, которая заключается в следующем:

проверке исправности освещения, вентилей паро- и водопроводов, уплотняющих прокладок крышки шкафа и смотровых окон, клапанов для заливки пропитывающей жидкости и слива ее из шкафа;

удалении остатков пропитывающей жидкости из ванны и тщательной протирке как внутренней поверхности шкафа, так и всех деталей и приспособлений, находящихся в нем;

проверке шкафа на герметичность.

Освещение шкафа проверяют включением и отключением выключателей. Перегоревшие электрические лампочки заменяют новыми, а при необходимости исправляют электропроводку. Напряжение сети для освещения шкафа не должно превышать 36 В.

Вентили паро-, водо- и маслопроводов (пропитывающей жидкости) должны обеспечивать плавную регулировку подачи пара, воды и пропитывающей жидкости и не иметь подтеков. Резиновая прокладка, уплотняющая место соединения крышки со шкафом, должна быть эластичной, не иметь трещин и вздутий. Дефектную резиновую прокладку заменяют новой.

Внутреннюю поверхность шкафа, загрузочной ванны, тележки, устройства индивидуальной заливки, смотровых окон и других деталей протирают чистой ветошью или бязью. Перед протиркой из шкафа и загрузочной ванны предварительно удаляют остатки пропитывающей жидкости. Из шкафов, предназначенных для пропитки конденсаторов хлорированными дифенилами, остатки жидкости ввиду их токсичности удаляют выпариванием под вакуумом.

Герметичность шкафа проверяют методом натекания. Для этого включают насос ВН-6Г, который при помощи клапана сообщается с вакуумным шкафом. При достижении в шкафу давления 10—20 Па его отсоединяют клапаном от насоса и последний останавливают. Отключенный шкаф выдерживают под вакуумом в течение 30 мин, затем в нем вновь измеряют давление. Вакуумный термошкаф удовлетворяет требованиям герметичности в том случае, если натекание не превышает заданного значения. Величина натекания (количество газа, поступающее в единицу времени), л·Па/с

$$B = V(P_1 - P_0)/\tau,$$

где V — объем шкафа, P_1—P_0 — изменения давления в шкафу за время τ.

При контроле герметичности шкафа одновременно проверяют на герметичность бустерный насос и ловушку с бачком для слива конденсата пропитывающей жидкости, которые при помощи вакуумных клапанов соединяют со шкафом.

Когда вакуумная система не удовлетворяет указанным требованиям герметичности, находят негерметичные места и устраняют натекание. Вначале методом натекания проверяют на герметичность отдельные элементы вакуумной системы (вакуумный трубопровод, шкаф,

ловушку и т. д.). Выявив негерметичный элемент, осматривают наиболее ненадежные его узлы и соединения, дополнительно подтягивают резиновые уплотнения или заменяют их новыми. Если при повторной проверке элемент остается негерметичным, для обнаружения места натекания применяют метод опрессовки или обнаруживают течь с помощью галогенного или массо-спектрометрического течеискателя (ПТИ-6).

Наиболее часто течи встречаются в местах уплотнения крышки и стекол смотровых окон шкафа, фланцевых соединений вакуумных трубопроводов и клапанов.

Подготовка собранных конденсаторов перед загрузкой в шкафы состоит в тщательной очистке их наружной поверхности от различных загрязнений, чтобы исключить попадание загрязнений внутрь конденсаторов при их заливке и пропитке. Для очистки от загрязнений конденсаторы моют в специальных моечных агрегатах.

Моечный агрегат состоит из трех ванн и сушильной камеры, установленных по ходу цепного конвейера. Первая ванна наполнена нагретым до 80—90° С моющим составом, в который входят тринатрийфосфат (8 г/л), моющая жидкость ОП-10 или ОП-7 (0,1 г/л) и двухромовокислый калий (1 г/л). Во второй ванне находится чистая вода, нагретая до 80—90° С. Третья ванна наполнена раствором нитрита натрия (100 г/л), нагретого до 60—70° С. Каждая ванна снабжена самостоятельным насосом, который позволяет моющий состав из ванны под большим давлением ($3-4\cdot10^5$ Па) направлять через распылители в расположенную над ванной камеру.

Для мойки конденсаторы с помощью пневмоподъемника подвешивают к цепи конвейера. Проходя через камеры над ваннами, конденсаторы под действием струй моющего состава очищаются и поступают в сушильную камеру. Затем их пневмоподъемником снимают с конвейера и подают на загрузку в шкафы или на места для хранения.

В первой камере конденсаторы освобождаются от загрязнений, во второй — дополнительно очищаются от загрязнений и моющего состава, в третьей — омываются раствором нитрита натрия, являющегося ингибитором, который резко замедляет коррозию металлических поверхностей конденсаторов. Во избежание попадания моющего состава во время мойки внутрь конденсаторов их

заливочные отверстия перед установкой на конвейер закрывают пробками.

В процессе работы концентрация растворов в ваннах постепенно уменьшается, поэтому в ванны периодически добавляют химикаты. При загрязнении ванны очищают и заменяют моющие составы.

Конденсаторы с пропиткой хлорированными дифенилами особо чувствительны к различного рода загрязнениям, поэтому перед загрузкой в шкафы они требуют более тщательной очистки, которую производят обычно в парах трихлорэтилена.

§ 51. Загрузка конденсаторов в шкафы

Загрузка осуществляется в соответствии с загрузочно-технологическими картами. Конденсаторы устанавливают в специальные загрузочные клети, которые размещают непосредственно на платформе или в ванне, установленной на платформе, в два-три яруса. Крупногабаритные конденсаторы размещают на платформе в один ярус без клетей.

Если применяют индивидуальную заливку, конденсаторы устанавливают на платформе с устройством для индивидуальной заливки и их заливочные отверстия соединяют с технологическими трубками (стаканами). Схема индивидуальной заливки конденсаторов показана на рис. 67.

При загрузке конденсаторы следует размещать свободно на расстоянии до 10 мм друг от друга, что обеспечивает более интенсивный разогрев их при атмосферном давлении и предотвращает понижение уровня пропитывающей жидкости в конденсаторах вследствие гидростатического давления жидкости при их выгрузке после пропитки.

Когда конденсаторы заливают, наполняя ванну (шкаф) пропитывающей жидкостью, на заливочные отверстия каждого конденсатора надо устанавливать технологические трубки. В этом случае понижение уровня жидкости в конденсаторах, происходящее в результате вспучивания стенок корпусов под действием гидростатического давления, которое возникает в конденсаторах при сливе пропитывающей жидкости из шкафа, компенсируется жидкостью, находящейся в технологической трубке.

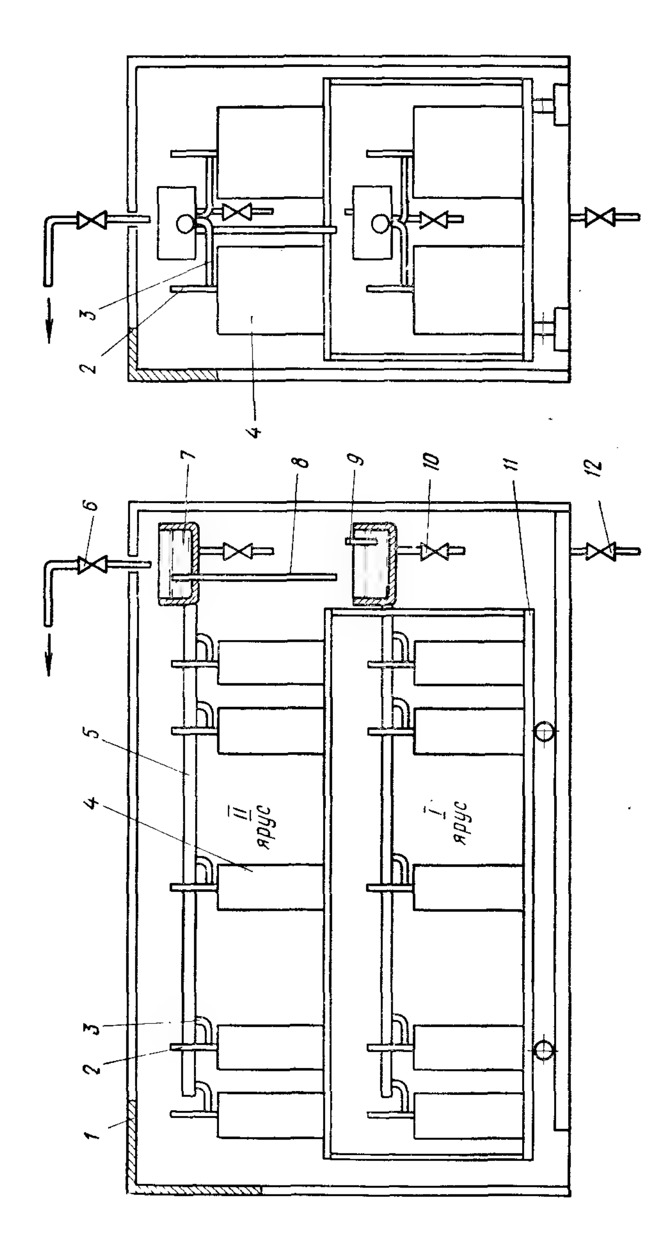


Рис. 67. Схема индивидуальной заливки конденсаторов:
1 — термовакуумный шкаф, 2, 3 и 8 — уравнительная, заливочная и переливная трубки, 4 — конденсатор, 5 — распределительный трубопровод, 6 — вентиль заливочной линии, 7 — заливочный бачок, 9 — датчик уровня жидкости, 10 — сливной вентиль заливочного бачка, 11 — тележка, 12 — клапан для слива жидкости из шкафа

Загружать шкаф необходимо конденсаторами одного и того же типа, благодаря чему достигается равномерность их сушки и пропитки. Выемные части конденсаторов, которые проходят сушку и пропитку без корпусов, загружают на платформы или в ванны шкафов в специальных ваннах (контейнерах), которые позволяют после пропитки и слива пропитывающей жидкости из шкафа содержать выемные части в пропитывающей жидкости до сборки конденсаторов.

При загрузке конденсаторов платформы устанавливают на специальные трансбордеры, при помощи которых их перемещают к месту укладки конденсаторов после мойки. Загрузку конденсаторов в ванны или на платформы производят с помощью подъемно-транспортных средств (тельферов, кран-балок, тележек и др.). Управление тельферами и кран-балками осуществляют с пола цеха с помощью сниженных щитков управления.

После загрузки конденсаторы закрепляют специальными приспособлениями, которые предотвращают их всплытие при заливке пропитывающей жидкости. При индивидуальной заливке закрепления конденсаторов не требуется.

Перед тем как задвинуть загруженную платформу в шкаф, между конденсаторами устанавливают датчики термометров сопротивления для контроля температуры в процессе сушки. Датчики термометров размещают в соответствии с загрузочно-технологической картой в точках с наибольшей и наименьшей температурами. Если для измерения температуры используют ртутные термометры, их устанавливают таким образом, чтобы ясно были видны показания через смотровые окна шкафа.

Установив термометры, платформу с конденсаторами закатывают в шкаф. Затем перекрывают вентиль на сливном патрубке ванны или сливной патрубок ванны соединяют со сливным патрубком шкафа. На выполнение этой операции должно быть обращено особое внимание во избежание вытекания пропитывающей жидкости из ванны в шкаф при заливке конденсаторов. Кроме того, перекрывают клапан на сливном трубопроводе снаружи шкафа. После этого крышку шкафа закрывают и равномерно по всему периметру затягивают болтами.

Одновременно с загрузкой конденсаторов в шкаф заполняют журнал по ведению вакуумной сушки и пропитки конденсаторов, где указывают номер шкафа, в который загружают конденсаторы, номера и количество загружаемых конденсаторов по типам, фамилии загрузчиков, фамилии слесарей и пропитчиков, производивших подготовку оборудования и проверку вакуумной системы на герметичность, а также фамилии контролера ОТК и сменного мастера. Помимо этого, в журнале указывают дату и время начала процесса, режим вакуумной сушки и пропитки конденсаторов в соответствии с технологической инструкцией.

§ 52. Вакуумная сушка конденсаторов

Основная задача вакуумной сушки — максимальное удаление влаги из конденсаторов и обезгаживание диэлектрика перед пропиткой.

Степень высушиваемости бумажного диэлектрика определяют два фактора: температура и вакуум в вакуумном шкафу. Чем выше температура и ниже давление, тем большее количество влаги может быть удалено из конденсаторов в процессе сушки (рис. 68).

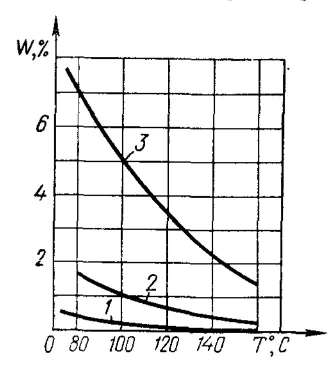


Рис. 68. Зависимость остаточной влажности W конденсаторной бумаги от температуры сушки T при различных давлениях в вакуумном шкафу:
1 — 130 Па, 2 — 650 Па, 3 — 100 000 Па

При заданных значениях температуры и вакуума остаточное влагосодержание в конденсаторах зависит также от продолжительности сушки. С увеличением времени сушки содержание влаги уменьшается. Однако, когда влагосодержание становится равновесным, дальнейшее увеличение времени сушки уже не обеспечивает снижения остаточной влажности. Увеличение степени высушиваемости может быть достигнуто лишь при дополнительном повышении температуры или снижении давления. Поэтому для достижения минимального влагосодержания в бумажном диэлектрике и ускорения процесса сушки желательно выбирать температуру сушки как можно выше и давление как можно ниже.

Максимальная температура при сушке конденсаторов ограничена термостойкостью диэлектрика и для бумажного диэлектрика не превышает 140° С, а для бумажно-полипропиленового — 110° С.

Минимальное давление обычно ограничивается техническими возможностями, а также экономическими соображениями и при окончательной сушке конденсаторов составляет 1—0,1 Па.

Для заданных температуры и давления продолжительность вакуумной сушки определяют опытным путем. Выбирают оптимальный режим сушки, обеспечивающий необходимое качество готовых конденсаторов с наименьшей затратой времени и средств.

Продолжительность сушки при прочих равных условиях обычно зависит от объема шкафа и количества загружаемых в него конденсаторов (массы бумаги), а также от плотности бумаги и степени запрессовки секций в пакетах.

Процесс сушки конденсаторов обычно делят на три периода: разогрев, предварительную сушку и окончательную сушку. В общем виде характер процесса сушки конденсаторов с бумажным диэлектриком в типовом шкафу показан на рис. 69.

Разогрев. Период разогрева конденсаторов непродолжителен и составляет не более 10% общего времени сушки. Чтобы ускорить удаление влаги, необходимо быстрее прогреть конденсаторы на всю глубину до наибольшей допустимой температуры. Поэтому разогрев желательно вести при атмосферном давлении, чтобы тепло от нагретых стенок шкафа передавалось конденсаторам не только лучеиспусканием и теплопроводностью, но и естественной конвекцией. Тепло, передаваемое конвекцией, составляет до 30% общего количества тепла и играет особенно важную роль в прогреве конденсаторов, расположенных в середине шкафа, так как их нагрев прямым излучением затруднен. Конденсаторы с бумажно-полипропиленовым диэлектриком во избежание окисления пленки разогревают под вакуумом.

Разогрев при атмосферном давлении может продолжаться лишь в течение 10—15 ч. Дальнейший разогрев приводит к насыщению шкафа парами воды и конденсации их на менее нагретых поверхностях, т. е. на стен-

ках корпусов конденсаторов, расположенных в середине шкафа. Образовавшийся конденсат в сочетании с повышенной температурой вызывает интенсивную коррозию металлических корпусов, что является недопустимым.

Температура внутри диэлектрика конденсаторов в конце разогрева обычно доводится до 80—90° С. Из-за

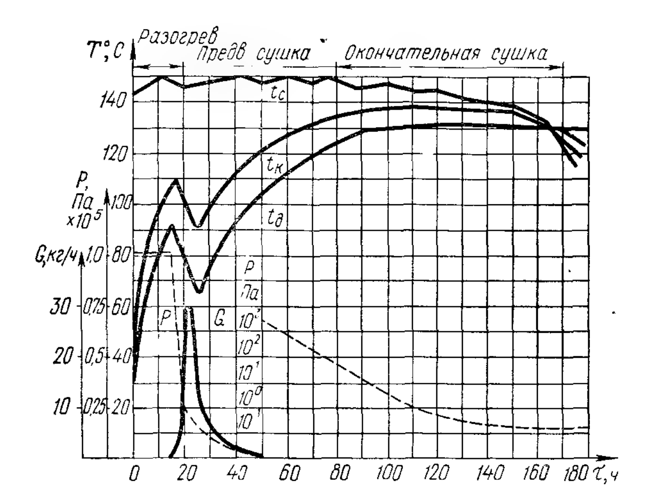


Рис. 69. Характер процесса сушки конденсаторов с бумажным диэлектриком:

$t_с$, $t_к$, $t_д$ — кривые температуры на стенке шкафа, между конденсаторами и внутри диэлектрика в конденсаторах, p — кривая изменения давления в шкафу, G — кривая скорости выделения влаги из конденсаторов

неодинаковых условий нагрева не все конденсаторы разогреваются до одной и той же температуры. Однако для обеспечения равномерной сушки разброс температур не должен превышать 10—12° С.

Поскольку температуру внутри диэлектрика в процессе сушки не контролируют, окончание разогрева конденсаторов определяют по термометрам, устанавливаемым между конденсаторами. В конце разогрева температура между конденсаторами обычно равна 110±10° С. В период разогрева температура на стенках шкафа должна быть максимальной (до 150° С).

Для интенсификации процесса разогрева часто прибегают к принудительной циркуляции горячего воздуха в шкафу. Воздух, нагретый до 150° С в калорифере, про-

гоняется вентилятором через шкаф по замкнутой системе и по мере увлажнения выбрасывается в атмосферу. После разогрева конденсаторов система принудительной циркуляции воздуха отключается от шкафа.

Разогрев конденсаторов в шкафу начинается с впуска теплоносителя в систему обогрева шкафа. Чтобы обеспечить максимальную подачу теплоносителя, вентиль на входе шкафа открывают полностью, но во избежание гидравлических ударов (если в качестве теплоносителя водяной пар) его следует открывать постепенно. Вентиль на выходе шкафа открывают на 2—3 оборота. Одновременно во избежание появления в шкафу избыточного давления шкаф через конденсатор влаги сообщают с атмосферой. Ввиду незначительного поступления паров воды из шкафа в период разогрева подача охлаждающей воды в конденсатор влаги ограничена.

Во время разогрева давление пара в обогреваемой системе шкафа должно составлять не менее $4 \cdot 10^5$ Па (избыточных), так как только при этом давлении температура стенок шкафа достигает 150° С и обеспечивается нормальный разогрев конденсаторов.

В период разогрева и всего дальнейшего процесса вакуумной сушки через каждые 2 ч проверяют температуру и вакуум в шкафу, записывая показания в журнал по ведению вакуумной сушки и пропитки конденсаторов.

Предварительная сушка. Этот период занимает до 40% времени процесса сушки и связан с удалением основного количества влаги из бумажного диэлектрика конденсаторов.

После разогрева конденсаторов до заданной температуры шкаф через конденсатор влаги подключают к насосу ВН-6Г и резко снижают давление в шкафу. Перед пуском насоса перекрывают клапан на сливном патрубке конденсатора влаги, с помощью которого шкаф сообщался с атмосферой, а для охлаждения конденсатора влаги подают охлаждающую воду. Дозатор насоса открывают полностью.

С уменьшением давления, как известно, понижается точка кипения воды. Поэтому в данный период происходит обильное выделение влаги из конденсаторов и съем ее в конденсаторе влаги может достигать в отдельные моменты нескольких десятков литров в час (кривая G на рис. 69).

Поскольку испарение влаги связано с поглощением большого количества тепла (2,24 МДж/кг при 100° С), то при наиболее интенсивном выделении влаги наблюдается также резкое снижение температуры внутри диэлектрика конденсаторов — на 25—30° С. В результате понижается и температура между конденсаторами. В период предварительной сушки, так же как и в период разогрева, температуру на стенках шкафа следует поддерживать максимальной.

По мере удаления влаги интенсивность испарения падает и в связи с уменьшением затрат тепла на испарение начинается непрерывный рост температуры конденсаторов. Осаждение паров воды в конденсаторе влаги продолжается в течение 40—45 ч. К моменту прекращения конденсации паров воды в конденсаторе влаги давление в шкафу снижается до 1,3 кПа (при температуре охлаждающей воды в конденсаторе влаги 10° С).

В течение всего периода осаждения паров в конденсатор влаги необходимо подавать максимальное количество охлаждающей воды, а давление на входе в насос во избежание его увлажнения поддерживать не выше 670 Па.

Когда осаждение влаги в конденсаторе прекратится и остаточное давление в шкафу достигнет 1,3 кПа, конденсатор влаги отключают и шкаф соединяют непосредственно с насосом. Затем пары воды из шкафа удаляют насосом при полностью открытом дозаторе. К концу периода предварительной сушки давление в шкафу снижается до 100 Па. Температура в конденсаторах выравнивается и до конца процесса сушки поддерживается в пределах 120—130° С.

С удалением основной массы влаги из конденсаторов подача теплоносителя для обогрева шкафа в значительной мере уменьшается. Тепло от стенок шкафа к конденсаторам передается главным образом излучением, так как при низких давлениях передача тепла естественной конвекцией практически отсутствует.

Наибольшее ускорение процесс сушки получает в результате осуществления нескольких циклов, состоящих из интенсивного разогрева конденсаторов при атмосферном давлении и интенсивного удаления паров воды под вакуумом. Характер протекания такого процесса сушки показан на рис. 70. В первые 8 ч производится разогрев при атмосферном давлении и температура между конденсаторами достигает 100—110° С, а внутри конденсаторов — 80—90° С. К концу разогрева рост температуры внутри конденсаторов замедляется. Это замедление обусловлено не только уменьшением разности температур между греющей поверхностью шкафа и конденсаторами, но и главным образом переходом абсорбционной влаги в капиллярную и бурным ее испарением, на что расходуется значительное количество тепла. С уменьшением разности температур между стенками шкафа и конденсаторами снижается подвод тепла к конденсаторам, в то же время насыщение объема шкафа парами воды замедляет испарение влаги из конденсаторов. Поэтому процесс сушки замедляется.

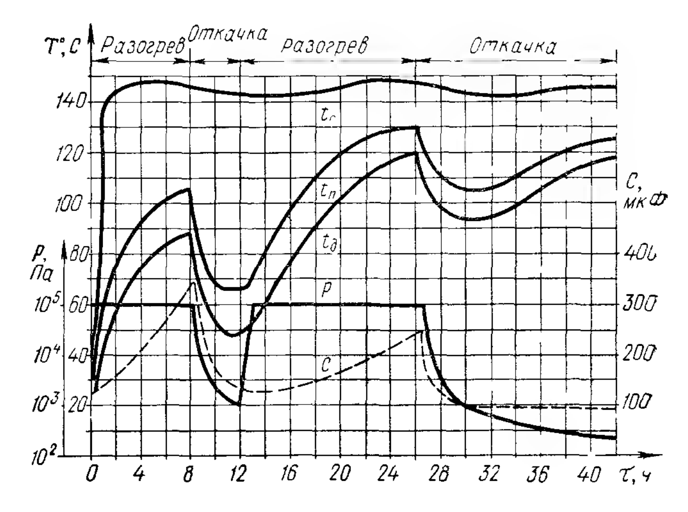


Рис. 70. Характер процесса предварительной сушки конденсаторов:

t_c, $t_к$ и $t_д$ — кривые температуры на стенке шкафа, между пакетами и внутри диэлектрика, p — кривая изменения давления в шкафу, C — кривая изменения емкости в процессе сушки

Резкое снижение давления от атмосферного до 1—2 кПа приводит к быстрому удалению паров воды из шкафа и обильному выделению влаги из пор бумаги, так как с уменьшением давления точка кипения воды понижается. За непродолжительное время откачки удаляется более 50% влаги, содержащейся в бумаге, и происходит резкое снижение температуры конденсаторов (на 30—40° С), поскольку запасенное при разогреве тепло

расходуется на испарение влаги, а подвод тепла извне недостаточен.

Низкие давление и температура конденсаторов в конце испарения влаги препятствуют дальнейшему интенсивному процессу сушки, поэтому в шкафу вновь создают атмосферное давление и производят разогрев конденсаторов. В связи с удалением большого количества влаги при повторном разогреве появляется возможность за короткое время нагреть конденсаторы до 110—120° С и удалить влагу при более низком давлении.

При достижении давления 100 Па процесс предварительной сушки заканчивается. В момент наиболее интенсивного парообразования в процессе сушки в результате затрудненного выхода паров из пор бумаги в пакетах возникают внутренние силы, достигающие нескольких тысяч ньютонов. Это необходимо учитывать при проведении сушки, поскольку эти усилия могут привести к разрушению стяжных хомутов из электрокартона и стяжных планок из гетинакса.

В процессе сушки в связи с повышением температуры и снижением влажности непрерывно изменяется емкость конденсаторов. В период разогрева емкость резко увеличивается (в 2—2,5 раза), что объясняется ослаблением связей молекул адсорбционной влаги и, следовательно, повышением ее диэлектрической проницаемости при переходе в обычную воду. По мере удаления влаги емкость уменьшается и к концу сушки снижается на 50—60% по сравнению с первоначальной. Аналогично изменяются в процессе сушки конденсаторов проводимость и тангенс угла диэлектрических потерь.

Режимы вакуумной сушки конденсаторов в шкафу объемом до 12 м³ приведены в табл. 11.

Окончательная сушка. После предварительной сушки остаточное влагосодержание в бумажном диэлектрике конденсаторов составляет десятые доли процента, что оказывает существенное влияние на величину тангенса угла потерь конденсаторов. Поэтому сушка продолжается при более высоком вакууме и предназначена для дальнейшего снижения остаточного влагосодержания в бумаге до тысячных долей процента в целях обеспечения необходимых характеристик конденсаторов. Указанное значение остаточного влагосодержания может быть получено только в процессе дальнейшей сушки при давлении 1—0,1 Па. Одновременно с удалением остатков влаги при

Таблица 11. **Режимы вакуумной сушки**

Период сушки	Конденсаторы без предварительной сушки			Конденсаторы с предварительной сушкой		
	Давление, Па	Температура между конденсаторами, °С	Продолжительность процесса, ч	Давление, Па	Температура между конденсаторами, С	Продолжительность процесса, ч
Разогрев	10^5	100—140	10	10^5	115—140	20
Предварительная сушка:						
1-е осаждение влаги	10^5—10^3	50—70	6	—	—	—
нагрев	10^5	110—140	10	—	—	—
2-е осаждение влаги	10^5—6×10^2	60—80	8	—	—	—
нагрев	10^5	110—140	10	—	—	—
3-е осаждение влаги	10^5—10^2	110—140	20	10^5—10^2	110—140	16
Окончательная сушка	10^2—1	115—130	50	10^2—1	115—130	50
Охлаждение	Не выше 1	130—90	12	Не выше 1	130—90	12

Примечание. Для конденсаторов с бумажно-пленочным диэлектриком температура при сушке не должна превышать 115° С.

этом давлении достигается и достаточная степень обезгаживания конденсаторов, обеспечивающая высокие напряжения возникновения частичных разрядов.

Сушка при высоком вакууме производится двухроторными и бустерными насосами. Поэтому переход от периода предварительной к периоду окончательной сушки связан с подключением к шкафу указанных насосов и переводом работы насоса ВН-6Г со шкафа на линию форвакуума этих насосов.

При работе двухроторного, а затем бустерного насосов давление в шкафу резко снижается и в течение не-

продолжительного времени достигает заданного. Однако низкое давление в шкафу еще не свидетельствует об окончании процесса сушки. Поскольку удаление остатков влаги и газов из пор туго спрессованного бумажного диэлектрика в значительной мере затруднено и происходит с некоторой конечной скоростью, для установления равновесного влаго- и газосодержания в бумаге необходимо определенное время. Продолжительность периода окончательной сушки 80 ч, и в течение всего периода температура конденсаторов поддерживается в пределах 115—130° С.

В конце предварительной и в период окончательной сушки давление в шкафу контролируется через каждые 2 ч термопарным манометром, указывающим суммарное давление воздуха и паров воды.

После окончания процесса сушки, непосредственно перед заливкой пропитывающей жидкостью, температуру конденсаторов снижают до 80—100° С. Конденсаторы охлаждают пропусканием в систему обогрева шкафа охлажденного теплоносителя или заблаговременным отключением обогрева шкафа.

При сушке конденсаторов возможны нарушения заданного режима температуры и вакуума в результате временных отключений электроэнергии, прекращения подачи теплоносителя, увлажнения насоса, нарушения герметичности вакуумной системы, а также по другим причинам.

Нарушения режима, связанные со снижением температуры или с потерей вакуума, вызывают замедление или прекращение сушки. В таких случаях для обеспечения необходимой степени высушиваемости конденсаторов следует продлить процес сушки. Время продления, как правило, устанавливают равным времени, в течение которого был нарушен режим сушки (с учетом времени восстановления режима).

Нарушение вакуума в течение последних 30 ч периода окончательной сушки недопустимо. В случае такого нарушения процесс должен быть проведен заново. Это объясняется тем, что при резком ухудшении вакуума возникает большой перепад давлений газов в порах диэлектрика и окружающем его пространстве (в шкафу), в результате чего газосодержание диэлектрика резко возрастает. Удаление же газов из пор диэлектрика происходит медленно и требует длительного времени.

Рассмотренный режим вакуумной сушки относится к конденсаторам с начальной влажностью бумажного диэлектрика 8—10%.

Наряду с указанным полным процессом сушки в последнее время широко применяют раздельную предварительную и окончательную сушку конденсаторов.

Раздельная предварительная сушка пакетов и конденсаторов. При такой сушке из пакетов и конденсаторов удаляют основную массу влаги, в результате чего влагосодержание бумажного диэлектрика доводят до 0,1—0,5%.

При использовании раздельной предварительной и окончательной сушки можно проводить не только электрические испытания сухих пакетов и более эффективную отбраковку дефектных секций, но и более рационально применять в ряде случаев термовакуумное оборудование.

На предварительную сушку пакеты поступают непосредственно после их запрессовки. В шкаф помещают максимальное количество пакетов, которое в 1,5—2 раза превышает количество конденсаторов, загружаемых на окончательную сушку в шкаф такого же объема. Пакеты загружают обычно в специальных клетях, устанавливаемых на платформе шкафа в несколько ярусов. Загрузку и выгрузку пакетов после сушки осуществляют с помощью подъемно-транспортных средств. При сушке пакетов конденсаторов без корпусов условия теплопередачи от стенок шкафа к пакетам более благоприятны, поэтому удельное время сушки (приходящееся на один пакет) по сравнению с удельным временем сушки конденсаторов в корпусах сокращается в 2—3 раза.

Необходимо учитывать, что после сушки при хранении происходит постепенное увлажнение пакетов главным образом с торцовых сторон секций. Проникновение влаги внутрь секций с боковых сторон ограничивается алюминиевыми обкладками. Находясь на воздухе при температуре 20—25° С и относительной влажности 50—70%, пакеты в течение первых пяти суток поглощают до 3—4%, а в течение месяца — до 25% выпаренной при сушке влаги. Таким образом во избежание увлажнения пакеты, прошедшие предварительную сушку, следует в короткий срок собирать в корпуса и направлять на окончательную сушку и пропитку. В случае вынужденного длительного хранения пакеты необходимо содержать при возможно меньшей относительной влажности воздуха и повышенной

температуре. В герметично заваренных корпусах пакеты могут находиться, не увлажняясь, длительное время. Поэтому, когда предварительную сушку проходят собранные конденсаторы, их заливочные отверстия на время хранения уплотняют пробками.

В соответствии с принятой на заводах технологией разрешается сокращать полный процесс сушки конденсаторов, если время пребывания пакетов на воздухе в нормальных условиях после предварительной сушки не превышает 7 сут, и продлевать, если время пребывания более 7 сут.

§ 53. Заливка и пропитка конденсаторов

Основной задачей пропитки конденсаторов является заполнение пор в бумаге и зазоров между слоями бумаги и пленки пропитывающей жидкостью после удаления из них влаги и воздуха в процессе вакуумной сушки.

Заливку и пропитку конденсаторов производят в том же шкафу, в котором выполняют вакуумную сушку. Для пропитки используют предварительно очищенную, просушенную и обезгаженную пропитывающую жидкость, по своим диэлектрическим характеристикам отвечающую заданным нормам.

Скорость впитывания пропитывающей жидкости в бумагу зависит от вязкости жидкости: чем ниже вязкость, тем быстрее жидкость проникает в поры бумаги.

Поскольку вязкость с повышением температуры падает, пропитку стараются выполнять при более высоких температурах. Зависимости вязкости пропитывающих жидкостей от температуры показаны на рис. 71. Температура ограничивается термостойкостью пропитывающей жидкости и бумаги (пленки). Кроме того, при выборе температуры пропитки учитывается летучесть пропитывающей жидкости при высоком вакууме и унос ее из шкафа. Во избежание уноса температуру пропитки снижают. Например, пропитку конденсаторов конденсаторным маслом производят при 40—50° С, касторовым маслом — при 70—80° С, а ТХД — при 50—60° С.

В процессе заливки и пропитки очень важно поддерживать давление в шкафу не выше достигнутого в период окончательной сушки конденсаторов. Однако необходимо учитывать возможное повышение давления в шкафу за счет давления паров пропитывающей жидкости. Чем

выше температура в шкафу, тем выше давление паров пропитывающей жидкости. Зависимости давления насыщенного пара пропитывающих жидкостей от температуры показаны на рис. 72.

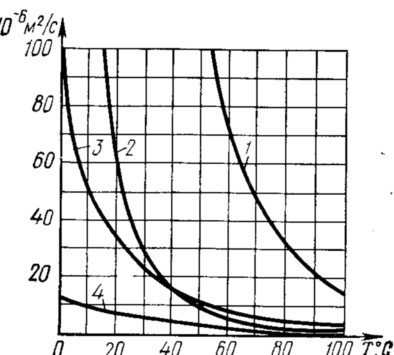


Рис. 71. Зависимость вязкости пропитывающих жидкостей от температуры:

1 — касторовое масло, 2 — трихлордифенил, 3 — конденсаторное масло, 4 — смесь трихлордифенила с трихлорбензолом

Перед началом заливки необходимо подготовить пропитывающую жидкость в количестве, достаточном для полной пропитки конденсаторов, находящихся в шкафу. Качество подготовленной пропитывающей жидкости подтверждается протоколом лабораторных испытаний, в котором должны быть указаны электрическая прочность, тангенс угла диэлектрических потерь и газосодержание. Непосредственно перед заливкой пускают воду для охлаждения ловушки, чтобы предотвратить попадание паров пропитывающей жидкости в насосы.

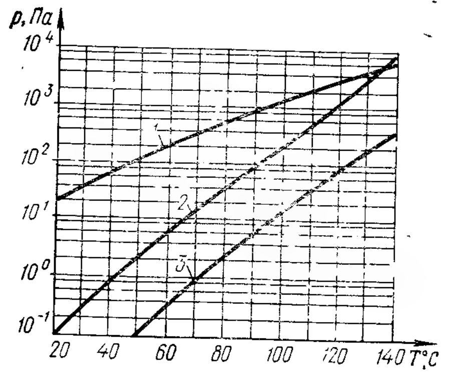


Рис. 72. Зависимость давления насыщенного пара пропитывающих жидкостей температуры:

1 — смесь трихлордифенила с трихлорбензолом, 2 — конденсаторное масло, 3 — трихлордифенил

Для заливки конденсаторов открывают вентиль заливочной линии, при помощи которой шкаф сообщается с баком подготовленной жидкости. Впускать пропитывающую жидкость надо постепенно. При полностью открытом вентиле пропитывающая жидкость должна поступать в шкаф ровной спокойной струей. Если же при заливке пропитывающая жидкость вспенивается и в шкафу резко повышается давление, это указывает на плохое обезгаживание

пропитывающей жидкости или на негерметичность заливочной линии. В таком случае заливку следует прекратить, устранить негерметичность заливочной линии, а пропитывающую жидкость подвергнуть повторному обезгаживанию.

В процессе заливки надо непрерывно поддерживать заданное давление, так как даже кратковременные повышения давления могут резко снизить электрическую прочность всей партии конденсаторов.

При наполнении ванны (шкафа) пропитывающей жидкостью до уровня, превышающего на 10 см уровень заливочных отверстий конденсаторов верхнего яруса, заливку прекращают. При индивидуальной заливке конденсаторов окончание ее определяют по достижении уровня жидкости в заливочном бачке до уровня переливной трубки. Уровень жидкости в бачке контролируют с помощью датчика уровня дистанционно или визуально по истечении жидкости через переливную трубку (см. рис. 67). Продолжительность нормальной заливки составляет 1—2 ч.

Когда пропитывающая жидкость попадает в конденсаторы, процесс пропитки происходит довольно быстро, так как хорошо высушенная и обезгаженная бумага под действием капиллярных сил жадно впитывает пропитывающую жидкость.

Для маловязких пропитывающих жидкостей (конденсаторное масло, ТХД) длительность пропитки не превышает 4 ч. Продолжительность пропитки жидкостями с высокой вязкостью (касторовое масло) может составлять 20 ч и более. При пропитке бумажно-пленочных и пленочных конденсаторов длительность и температуру пропитки устанавливают опытным путем в зависимости от свойств пленки.

За ходом пропитки можно наблюдать, измеряя емкость конденсаторов (рис. 73). По мере заполнения пор бумаги пропитывающей жидкостью емкость конденсаторов увеличивается. Установившаяся емкость свидетельствует о том, что процесс пропитки закончен. Дальнейшее увеличение времени пропитки уже не дает эффективных результатов.

В процессе заливки и пропитки на поверхности пропитывающей жидкости не должно наблюдаться выделения пузырьков воздуха. Выделение пузырьков свидетельствует о попадании воздуха в конденсаторы в процессе заливки. Воздух из этих конденсаторов не может быть удален

даже при длительной откачке, поэтому такие конденсаторы непригодны для нормальной эксплуатации. После окончания пропитки излишнюю пропитывающую жидкость из ванны или шкафа сливают под вакуумом.

В случае пропитки конденсаторным и касторовым маслами конденсаторы после слива масла выгружают из шкафа и направляют для запайки заливочных отверстий.

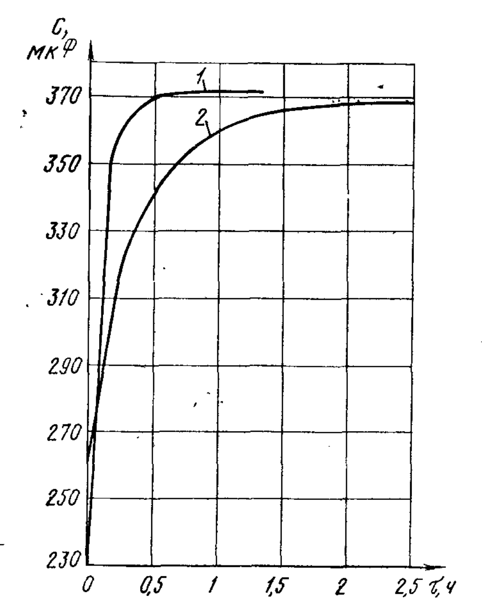


Рис. 73. Зависимости емкости от времени пропитки конденсаторным маслом конденсаторов из бумаги:
1 — КОН-1, 2 — КОН-2

При пропитке хлорированными дифенилами стенки шкафа и наружные поверхности конденсаторов перед выгрузкой подвергают осушке при высоком вакууме, чтобы избавиться от остатков пропитывающей жидкости. Испаряющаяся пропитывающая жидкость осаждается в ловушке и скапливается в сборнике.

При индивидуальной заливке пропитывающая жидкость от общей заливочной линии подается непосредственно в каждый конденсатор с помощью распределительных трубок. Индивидуальная заливка позволяет более рационально использовать пропитывающую жидкость, а также

повышать культуру производства и качество конденсаторов. При индивидуальной заливке отпадает необходимость в осушке конденсаторов перед выгрузкой. Выгрузку конденсаторов производят после охлаждения их в шкафу до температуры не выше 60° С.

§ 54. Сборка и герметизация конденсаторов после пропитки

Конденсаторы, прошедшие вакуумную сушку и пропитку в корпусах, после выгрузки из шкафа поступают на участок герметизации для запайки заливочных отверстий.

Когда конденсаторы подвергаются сушке и пропитке без корпусов, выемные части в контейнерах после выгрузки предварительно доставляют на участок сборки, где выполняют их сборку с корпусом и последующую герметизацию собранных конденсаторов. Это относится только к некоторым конденсаторам в изоляционных корпусах. До сборки выемные части конденсаторов должны храниться в плотно закрытых контейнерах, в шкафах или под вакуумом полностью погруженными в пропитывающую жидкость.

Сборка после пропитки представляет определенные трудности и является ответственным этапом в изготовлении конденсаторов, связанным с необходимостью предохранения пропитанных пакетов не только от различного рода загрязнений, но и от увлажнения и попадания в них воздуха.

Технология сборки конденсаторов разных типов после пропитки не имеет принципиального различия и состоит из следующих основных операций:

подготовки корпусов и деталей для сборки;

замера и подгонки емкости выемной части;

сборки выемной части с корпусом;

обезгаживания и заливки пропитывающей жидкостью под вакуумом собранных конденсаторов;

доливки пропитывающей жидкости и герметизации.

Подготовка корпусов и деталей для сборки. Корпуса и детали, соприкасающиеся с выемной частью и пропитывающей жидкостью, могут вносить загрязнения внутрь конденсаторов и значительно снижать их электрические характеристики. Поэтому при сборке конденсаторов необходимо соблюдать надлежащую чистоту не только корпусов и деталей конденсаторов, но и рабочего места.

Фарфоровые покрышки (корпуса) перед сборкой следует или вымыть проточной водой и затем высушить, или тщательно протереть чистой ветошью или бязью. Наружные поверхности покрышек должны быть подвергнуты не менее тщательной очистке, чем внутренние. Необходимо иметь в виду, что на холодных покрышках, внесенных в теплое помещение, происходит конденсация влаги. Поэтому до начала сборки покрышки должны нагреться до температуры окружающей среды.

Цилиндры из бакелизированной бумаги, увлажняющиеся в обычных условиях, для увеличения электрической прочности и сопротивления изоляции предварительно подвергаются вакуумной сушке и пропитке конденсаторным маслом. Сушку и пропитку производят в термовакуумных шкафах в течение 24 ч при температуре 80—90° С и давлении не выше 20 Па.

Крышки конденсаторов также следует протирать бязью, а крепежные детали хранить в специальной таре, предотвращающей их загрязнение.

После подготовки деталей выполняют сборку корпуса конденсатора, которая заключается в соединении фарфоровой покрышки или бакелитового цилиндра с нижней крышкой. При сборке нижней крышки *14* (рис. 74) с фарфоровой покрышкой *4* последнюю устанавливают нижним торцом вверх. На покрышку надевают фланец *15*, разъемное кольцо *2* и резиновую прокладку *3*, предохраняющую фарфор от механических повреждений. Затем в резьбовые отверстия нижней крышки ввертывают стяжные шпильки *13*, а в проточку укладывают кольцевую уплотняющую резиновую прокладку. После установки крышки на торец фарфоровой покрышки фланец *15* с разъемным кольцом *2* приподнимают, насаживают отверстиями на концы шпилек *13* крышки и гайками равномерно притягивают к конусной части торца покрышки. При этом разъемное кольцо по всему периметру должно упираться в резиновую прокладку *3*.

Сборку фарфоровых покрышек с нижними крышками можно производить и в другой последовательности: на уложенную на пол нижнюю крышку помещают уплотняющую прокладку и устанавливают фарфоровую покрышку с предварительно надетыми на нее фланцем, разъемным кольцом и резиновой прокладкой. Этот способ применяют при крупногабаритных фарфоровых покрышках,

для перемещения которых используют подъемные устройства.

Замер и подгонка емкости выемной части. Непосредственно перед сборкой конденсаторов производят замер и в случае необходимости подгонку емкости выемных частей. Эти операции выполняются главным образом при сборке конденсаторов, имеющих малые допуски по емкости, и служат для обеспечения емкости готовых конденсаторов в заданных пределах. К указанной группе конденсаторов преимущественно относятся конденсаторы связи.

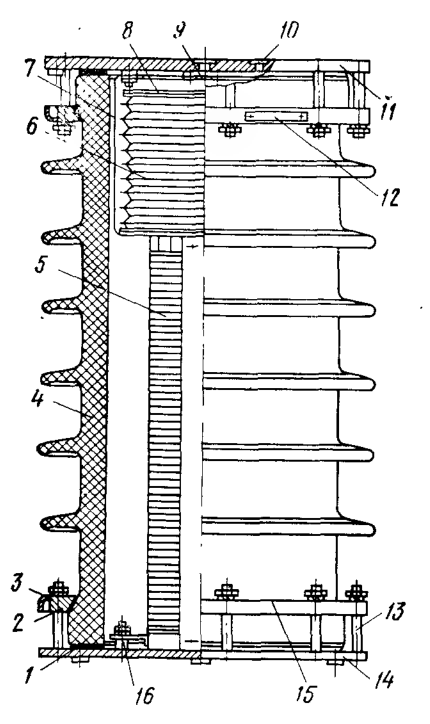


Рис. 74. Устройство конденсатора ДМР80-0,0044:

1 и *3* — уплотняющая и резиновая прокладки, *2* — разъемное кольцо, *4* — фарфоровая покрышка, *5* — пакет, *6* — расширитель, *7* — отвод пакета, *8* — изоляционный и стальной диски, *9* — обратный клапан, *10* — пробки, *11* и *14* — верхняя и нижняя крышки, *12* — маркировочная табличка, *13* — стяжная шпилька, *15* — фланец, *16* — болт для крепления пакета

Измерение и подгонка емкости обычно связаны с извлечением выемных частей из масла. Поэтому во избежание увлажнения и попадания воздуха в секции эти операции необходимо выполнять в минимально возможное время. Время пребывания выемной части на воздухе с момента извлечения ее из контейнера до посадки в корпус с маслом не должно превышать 15 мин. Если позволяют условия, измерение и подгонку емкости следует производить в масле, без извлечения пакетов на воздух. Для определения емкости надо применять приборы, обеспечивающие необходимую точность измерений.

Если общая емкость выемной части при измерениях укладывается в заданные пределы, выемная часть поступает непосредственно на сборку с корпусом. В противном случае производят подгонку емкости.

Конденсаторы, связанные с подгонкой емкости, обычно имеют большое количество последовательно соединенных секций или групп секций в пакетах. Подгонка емкости таких пакетов в заданные пределы легче всего может быть осуществлена в том случае, когда емкость занижена и требуется ее увеличение. Поэтому конденсаторы заранее рассчитывают так, чтобы их емкость после пропитки находилась на нижнем пределе допуска.

Подгонка емкости может быть осуществлена двумя путями: дополнительной подпрессовкой пакетов выемной части и отключением нескольких последовательно соединенных секций или групп секций в пакетах. В первом случае для увеличения емкости в конструкции щек пакетов предусмотрена установка регулировочных болтов, позволяющих производить сжатие секций в пакете. Во втором случае в пакеты при их изготовлении закладывают дополнительные секции, отключение которых при подгонке емкости не оказывает влияния на электрическую прочность конденсаторов. Секции отключают перепайкой их токоподводов накоротко. Во избежание внесения загрязнений перепайку токоподводов следует производить без применения флюсов.

Подгонка емкости выемных частей, состоящих из нескольких пакетов, должна быть выполнена таким образом, чтобы не только общая емкость выемной части, но и емкости отдельных пакетов и последовательно соединяемых групп пакетов также находились в заданных пределах. Это требование вызвано необходимостью равномерного распределения напряжений в пакетах и секциях конденсаторов для повышения их надежности в эксплуатации.

Сборка выемной части с корпусом. Этот процесс состоит из следующих основных операций: посадки выемной части в корпус, закрепления ее на нижней крышке и сборки верхней крышки с корпусом.

После того как произведены замер и подгонка емкости, выемную часть конденсатора переносят в корпус и выполняют механическое и электрическое соединение с нижней крышкой, являющейся одним из выводов конденсатора.

Выемную часть с нижней крышкой соединяют обычно болтами (рис. 75). Скобы *4* нижних щек выемной части

насаживают на приваренные к крышке болты *5* и при помощи торцового ключа прижимают гайками *6*. Посадку выемной части в корпус осуществляют с помощью направляющих стержней, которые предварительно соединяют с болтами. Направляющие стержни одновременно позволяют опускать гайки и навертывать их на болты.

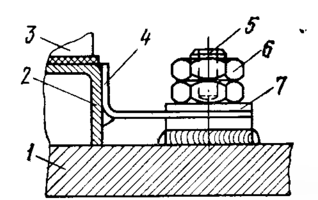


Рис. 75. Соединение выемной части с нижней крышкой болтами:
1 — крышка, *2* — щека пакета, *3* — пакет, *4* — скобы щеки, *5* — болт, *6* — гайка, *7* — шайба

Жесткие стенки фарфоровых и бакелитовых корпусов не могут обеспечить компенсацию температурного изме-

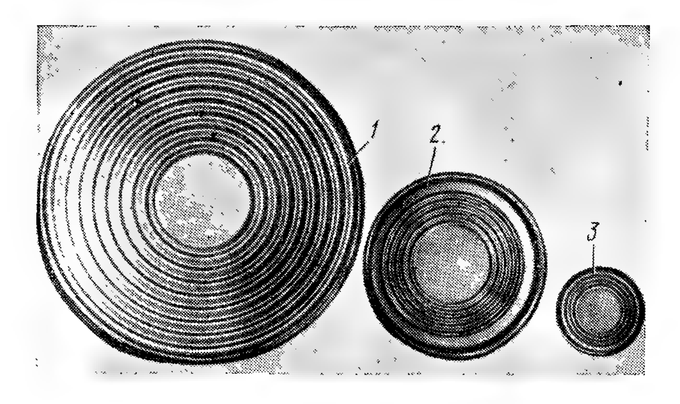


Рис. 76. Расширители для конденсаторов:
1 — СМ166 /$\sqrt{3}$-14, *2* — ДМР80-0,0044, *3* — ДМР80-0,001

нения объема пропитывающей жидкости в конденсаторах, поэтому внутри конденсаторов создают воздушную подушку или устанавливают расширители (рис. 76). Для уменьшения объема пропитывающей жидкости и облегчения компенсации свободное пространство между выемной частью и корпусом конденсатора часто заполняют твердыми изоляционными материалами. В качестве заполнителя обычно используют отходы электрокартона и гетинакса, пропитанные вместе с выемными частями.

Конденсаторы без расширителей после заливки пропитывающей жидкостью направляют на обезгаживание и

затем производят их сборку с верхней крышкой и окончательную герметизацию.

Конденсаторы с расширителями (обычно к ним относятся конденсаторы связи) проходят вакуумную обработку после установки расширителей и сборки с верхней крышкой. Для обезгаживания и индивидуальной заливки пропитывающей жидкости в верхних крышках предусмотрены заливочные отверстия. При сборке конденсаторов с расширителями отвод выемной части с защитной прокладкой поднимают на верхний торец корпуса. В случае необходимости в корпус закладывают заполнитель. Затем на выемной части поочередно размещают расширители, которые от щек выемной части и выступающих деталей верхней крышки защищают стальными дисками и изоляционными прокладками.

Расширители, применяемые для компенсации температурного изменения объема пропитывающей жидкости, должны быть герметичными. Проверку на герметичность проводят дважды. Для первой проверки, выявляющей грубые течи, расширитель погружают в нагретое до 50—60° С конденсаторное масло и слегка сжимают. Места течи обнаруживают по появлению пузырьков воздуха. Для второй проверки, выявляющей малые течи, расширители укладывают в струбцины и выдерживают под вакуумом при давлении не более 100 Па в течение нескольких часов . Негерметичные расширители обнаруживают по вогнутым внутрь стенкам.

Сборка верхних крышек с корпусом для всех конденсаторов не отличается от сборки нижних крышек, за исключением того, что при установке верхних крышек к ним присоединяют отводы выемных частей болтами или непосредственно припайкой к крышке.

Обезгаживание и заливка пропитывающей жидкостью под вакуумом собранных конденсаторов. В процессе сборки выемные части конденсаторов некоторое время находятся на воздухе, что приводит к неизбежному попаданию его в секции, главным образом с их торцовых сторон, и ухудшению первоначальных электрических характеристик конденсаторов. Поэтому после сборки конденсаторы необходимо подвергать откачке для максимально возможного удаления воздушных включений с последующей заливкой пропитывающей жидкостью под вакуумом.

Откачку конденсаторов выполняют в специальных шкафах, снабженных механическими насосами. Для этой

цели с успехом могут быть использованы и термовакуумные шкафы, применяемые для вакуумной сушки и пропитки конденсаторов. Откачку крупногабаритных конденсаторов можно выполнять также непосредственным подключением их к вакуумному насосу. Откачку производят при остаточном давлении не выше 20 Па и температуре 25—50° С. Ее продолжительность зависит от габаритов конденсаторов и составляет от 6 до 20 ч.

Доливка пропитывающей жидкости и герметизация конденсаторов. В большинстве случаев конденсаторы предназначены для работы в широком диапазоне температур (от —40 до 70—90° С). Естественно, что в результате температурного изменения объема пропитывающей жидкости внутри конденсаторов могут происходить изменения давления также в значительных пределах. При этом в конденсаторах могут возникать давления выше или ниже атмосферного.

Возникновение чрезмерно высоких давлений связано с опасностью нарушения герметичности и даже разрушения корпуса конденсатора. Появление вакуума представляет собой опасность засасывания атмосферного воздуха внутрь конденсаторов и постепенного их увлажнения в случае нарушения герметичности. Кроме того, вакуум в конденсаторах вызывает понижение напряжения возникновения частичных разрядов, что особенно опасно для конденсаторов переменного тока.

В конструкциях конденсаторов обычно предусматривается возможность компенсации температурного изменения объема пропитывающей жидкости в таких пределах, которые исключают появление опасных давлений и вакуума внутри конденсаторов. Например, компенсация температурного изменения объема пропитывающей жидкости конденсаторов в металлических корпусах достигается упругой деформацией стенок корпусов. Однако, если герметизацию этих конденсаторов производить при низких температурах, в процессе эксплуатации в них могут возникать недопустимо высокие давления. Наоборот, если герметизацию выполнять при высоких температурах, в конденсаторах будет постоянно поддерживаться давление ниже атмосферного. Таким образом выбор температуры, при которой необходимо производить герметизацию конденсаторов, имеет большое значение.

Обычно герметизацию конденсаторов в металлических корпусах осуществляют при 30—60° С. Поэтому перед

герметизацией выгружаемые из шкафа конденсаторы необходимо охладить до указанной температуры. Непосредственно перед герметизацией конденсаторы должны быть полностью залиты пропитывающей жидкостью во избежание насыщения воздухом и оголения секций при наклонах конденсаторов. Кроме того, недолив пропитывающей жидкости (наличие воздушной подушки) может вызвать значительное изменение уровня пропитывающей жидкости в конденсаторах при изменении температуры и привести к снижению электрической прочности изоляции выводов. Как правило, уровень пропитывающей жидкости в конденсаторах к моменту герметизации понижается. Это происходит как в результате охлаждения конденсаторов после выгрузки, так и вследствие деформации (вспучивания) стенок корпусов из-за возникновения разности давлений на их внутренних и наружных поверхностях при сливе пропитывающей жидкости из шкафа после пропитки.

Доливку конденсаторов производят сухой обезгаженной жидкостью. Время пребывания конденсаторов на воздухе с момента выгрузки до окончательной герметизации должно быть минимальным.

Качество конденсаторов значительно повышается, если сушку и пропитку их выполняют с установленными на заливочные отверстия технологическими трубками и производят индивидуальную заливку. В этом случае исключается непосредственное соприкосновение с атмосферой пропитывающей жидкости, находящейся в конденсаторе, и проникновение в нее влаги и воздуха. Одновременно исключается необходимость доливки конденсаторов перед окончательной герметизацией, так как понижение уровня пропитывающей жидкости в конденсаторах может быть скомпенсировано пропитывающей жидкостью, находящейся в трубках. Непосредственно перед герметизацией трубки снимают.

Поскольку жесткие фарфоровые и бакелитовые корпуса не обладают деформацией, способной компенсировать изменение объема пропитывающей жидкости, в конденсаторах некоторых типов компенсация осуществляется воздушной подушкой, которая создается в результате неполной доливки их пропитывающей жидкостью при герметизации. К этой группе конденсаторов относятся главным образом конденсаторы постоянного тока, предназначенные для работы во внутренних установках при неболь-

ших колебаниях окружающей температуры. В таких конденсаторах для компенсации изменения объема пропитывающей жидкости объем воздушной подушки требуется небольшой. Однако при незначительном недоливе пропитывающей жидкости возможно оголение секций при перевертывании конденсаторов, поэтому после откачки их перевертывание не допускается.

В конденсаторах, предназначенных для работы в наружных и ответственных установках (конденсаторы связи и др.), недопустимо не только наличие воздушной подушки, но и возникновение давлений ниже атмосферного во всем диапазоне рабочих температур. Поэтому перед герметизацией в таких конденсаторах создается избыточное давление пропитывающей жидкости, для чего в крышках конденсаторов помимо заливочных отверстий предусматривают отверстия с обратными клапанами.

Сохранение избыточного давления внутри конденсаторов во всем интервале рабочих температур связано с появлением значительных давлений в области положительных температур. Следовательно, корпуса конденсаторов должны обладать повышенной механической прочностью.

Доливку конденсаторов и создание в них избыточного давления масла производят с помощью ручного или механического насоса, который подключают к обратным клапанам конденсаторов гибким шлангом со штуцером. Для контроля создаваемого в конденсаторах давления на штуцере устанавливают стрелочный манометр.

При доливке и создании избыточного давления конденсаторы во избежание образования воздушной подушки необходимо располагать в строго вертикальном положении. Во время доливки пропитывающей жидкости заливочные отверстия конденсаторов должны быть открыты для свободного выхода воздуха. После появления пропитывающей жидкости в заливочных отверстиях их герметизируют. Затем в конденсаторе создают заданное избыточное давление пропитывающей жидкости и герметизируют отверстия с обратными клапанами.

Избыточное давление в конденсаторах можно создавать при любой температуре, однако при разных температурах конденсаторов оно будет различно. Практически создаваемое давление в зависимости от температуры для каждого типа конденсаторов определяют по графикам, полученным на основании опытных данных (рис. 77).

Для доливки конденсаторов и создания в них избыточного давления надо использовать сухую обезгаженную пропитывающую жидкость.

Герметизацию конденсаторов в металлических корпусах осуществляют напайкой на заливочные отверстия металлических колпачков. В конденсаторах с избыточным давлением заливочные отверстия с обратными клапанами закрывают пробками с резиновыми прокладками и заливают припоем.

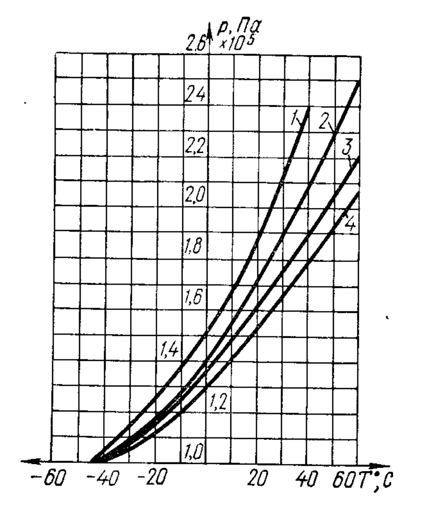


Рис. 77. Зависимости давления масла от температуры внутри конденсаторов:
1 — ДМР80-0,001,
2 — ДМРИ188/ $\sqrt{3}$-0,012,
3 — ДМР80-0,0044, *4* — СМ166 $\sqrt{3}$-14

При пайке заливочных отверстий следует избегать применения каких-либо флюсов из-за возможного попадания их внутрь конденсаторов. Для запайки используют специальные (фасонные) паяльники мощностью 500 Вт на напряжение 36 В. Рабочие места должны быть оборудованы вытяжной вентиляцией.

После герметизации конденсаторы обезжиривают на моечной машине (в качестве растворителей применяют трихлорэтилен или моющие составы), а затем отправляют на испытания.

§ 55. Влияние процесса сушки и пропитки на электрические характеристики и срок службы конденсаторов

Вакуумная сушка и пропитка конденсаторов являются наиболее важным процессом в технологическом цикле изготовления конденсаторов. От их качества в значительной степени зависят электрические характеристики конденсаторов и их стабильность.

Важнейшей электрической характеристикой, в наибольшей степени зависящей от сушки и пропитки и опре-

деляющей качество конденсаторов, является тангенс угла диэлектрических потерь tg δ.

У качественных конденсаторов значения tg δ не должны превышать 0,12—0,05% для бумажно-пленочных, 0,18—0,25% — для бумажно-масляных и 0,20—0,40% — для бумажных конденсаторов, пропитанных хлорированными дифенилами. В конденсаторах, пропитанных касторовым маслом, допускаются более высокие значения tg δ.

Малые величины tg δ при комнатной температуре еще не полностью характеризуют качество конденсаторов. Величина tg δ должна оставаться стабильной также и в области повышенных рабочих температур и не меняться при изменении напряжения в широких пределах.

Конденсаторы с малыми и стабильными значениями tg δ могут быть получены только при условии строгого режима их вакуумной сушки и пропитки. Отклонения от заданного режима, связанные с недосушкой или недостаточным обезгаживанием конденсаторов и пропитывающей жидкости, приводят к нестабильности tg δ конденсаторов. Из-за недосушки tg δ конденсаторов с повышением температуры резко увеличивается, поэтому недосушку легко обнаружить, если определить зависимость tg δ от температуры [$\mathrm{tg}\,\delta = f\ (t)$]. Наличие воздуха вызывает резкое увеличение tg δ конденсаторов при повышенных напряжениях и также легко обнаруживается при снятии зависимости tg δ от напряженности электрического поля [$\mathrm{tg}\,\delta = f\ (E)$].

Помимо недосушки и недостаточного обезгаживания на величину и стабильность tg δ конденсаторов в значительной степени влияют различного рода загрязнения. Присутствие загрязнений (ионных примесей) может быть выявлено при снятии зависимости tg δ конденсаторов от температуры и напряжения (напряженности электрического поля).

На рис. 78 показаны зависимости тангенса угла потерь от температуры для конденсаторов, пропитанных минеральным маслом и ТХД. Кривые *1* относятся к конденсаторам, прошедшим нормальный процесс вакуумной сушки и пропитки. В области положительных рабочих температур угол потерь этих конденсаторов имеет минимальные значения и практически остается постоянным.

Кривые *2*, имеющие U-образный вид, относятся к конденсаторам, у которых при вакуумной сушке недостаточно удалена влага. В этом случае tg δ конденсаторов при температуре 40—50° С имеет минимум, который, однако, значительно выше tg δ конденсаторов, прошедших нормальную сушку. Подъем кривой tg δ слева от минимума (с понижением температуры) обусловлен

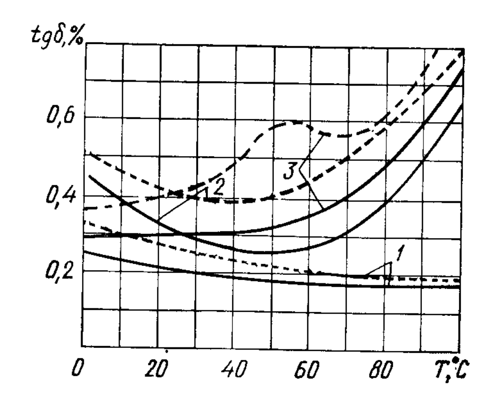


Рис. 78. Зависимости тангенса угла потерь от температуры (сплошные кривые — для конденсаторов, пропитанных маслом, пунктирные — для конденсаторов, пропитанных ТХД)

возрастанием влияния дипольных потерь недосушенной бумаги. Подъем кривой tg δ справа от минимума объясняется увеличением потерь проводимости в недосушенной бумаге ввиду возрастания подвижности ионов с повышением температуры.

Кривые *3* относятся к конденсаторам, прошедшим нормальный процесс сушки и пропитки, но при изготовлении в эти конденсаторы были внесены загрязнения. Поскольку загрязнения обычно являются ионными примесями, их присутствие в конденсаторе также вызывает резкое возрастание tg δ с повышением температуры. При этом tg δ конденсаторов, пропитанных ТХД, загрязненных канифолью, имеет характерный максимум при температуре 60° С. Аналогичный максимум наблюдается у этих конденсаторов, изготовленных из фольги, загрязненной маслами, которые применяют в качестве смазки при ее прокатке.

Зависимости тангенса угла диэлектрических потерь от напряженности электрического поля показаны на рис. 79. Кривые *1* характеризуют собой конденсаторы, прошедшие нормальный процесс сушки и пропитки. Величина tg δ этих конденсаторов практически не зависит от напряженности электрического поля до 50—60 В/мкм.

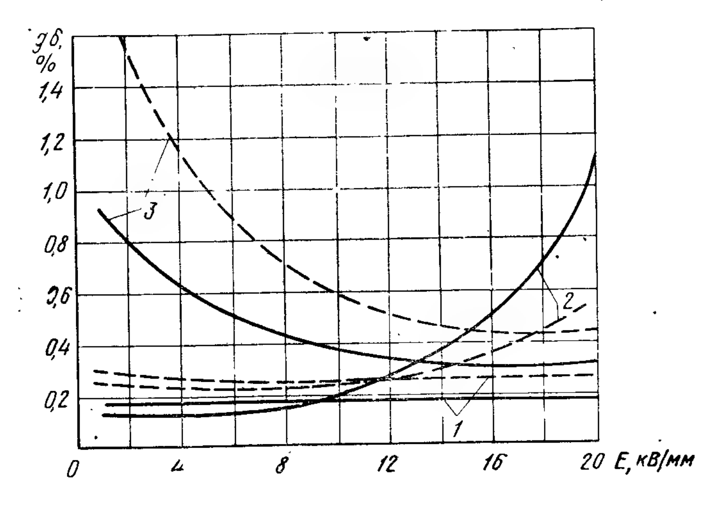


Рис. 79. Зависимости тангенса угла потерь от напряженности электрического поля (сплошные кривые — для конденсаторов, пропитанных маслом, пунктирные — для конденсаторов, пропитанных ТХД)

Кривыми *2* представлена зависимость tg δ от напряженности электрического поля для конденсаторов с наличием воздуха. Характерным для таких конденсаторов является то, что при малых напряженностях электрического поля наблюдаются низкие значения tg δ, так как воздух не имеет потерь. Однако при повышении напряжения, начиная с некоторого критического значения, угол потерь конденсаторов резко возрастает, что объясняется ионизацией воздушных включений в диэлектрике или у краев обкладок. Напряжение возникновения частичных разрядов тем ниже, чем больше растворенного воздуха находится в конденсаторе. При большом количестве воздуха ионизация в конденсаторе может происходить при напряжениях значительно ниже рабочего.

Кривые *3* показывают зависимость tg δ от напряженности электрического поля для конденсаторов с загрязнениями. Растворенные загрязнения (ионные примеси) в конденсаторе вызывают при снижении напряжения (в области небольших напряженностей) возрастание угла потерь, особенно заметное при повышенных температурах. В этом случае значительную часть общих потерь конденсатора составляют потери, обусловленные колебательным движением ионов в прослойках пропитывающей жидкости, находящейся в зазорах между слоями диэлектрика. Возрастание угла потерь с понижением напряжения может быть объяснено следующим образом. Если напряжение достаточно высокое, амплитуда колебаний ионов ограничивается величиной зазоров между слоями диэлектрика. При снижении напряжения активные потери остаются постоянными, поскольку колебания ионов все еще происходят в пределах зазоров между слоями диэлектрика, а реактивная мощность конденсатора, зависящая от квадрата величины напряжения, резко уменьшается. Поэтому отношение активной мощности потерь к реактивной мощности конденсатора (тангенс угла диэлектрических потерь) с понижением напряжения возрастает.

Тангенс угла диэлектрических потерь достигает максимального значения при снижении напряжений до такой величины, при которой амплитуда колебаний ионов становится равной толщине зазоров в диэлектрике. Поскольку полярные пропитывающие жидкости обладают повышенной проводимостью и более чувствительны к загрязнениям, чем неполярные, зависимость угла потерь от напряжения у конденсаторов, пропитанных хлорированными дифенилами, выражена более резко, чем у конденсаторов, пропитанных конденсаторным маслом.

Таким образом, определив зависимость тангенса угла потерь готовых конденсаторов от температуры и напряжения, можно с определенной точностью судить о тех или иных отклонениях, допущенных при вакуумной сушке и пропитке или при сборке конденсаторов.

Кроме того, отклонения от установленной технологии для конденсаторов переменного тока могут быть выявлены при их длительных испытаниях повышенным напряжением, которые проводят в течение 48 ч при напряжении 1,2 номинального и температуре окружающей среды 20—30° С.

В конденсаторах, имеющих повышенные потери из-за недосушки или загрязнений, в процессе длительных ис-

пытаний происходит значительный перегрев диэлектрика по отношению к температуре окружающей среды. Такой перегрев, намного превышающий допустимый для качественных конденсаторов, приводит к нарушению теплового равновесия, при котором выделяющееся в конденсаторе тепло не успевает полностью отводиться стенками корпуса. Нарушение теплового равновесия вызывает быстрый рост температуры диэлектрика и пробой конденсатора.

Если конденсаторы плохо обезгажены или насыщены воздухом, при длительных испытаниях в них быстро развиваются частичные разряды, которые выводят конденсаторы из строя не только из-за возрастания температуры, вызванного появлением потерь на ионизацию, но и вследствие разрушения диэлектрика под воздействием разрядов. В бумажно-масляных конденсаторах частичные раздряды сопровождаются в результате разложения масла обильным выделением газов и образованием твердых продуктов. Поэтому внутри конденсатора возникают высокие давления, которые еще до наступления пробоя диэлектрика вызывают вспучивание корпуса конденсатора.

Высокие стабильные характеристики конденсатора являются непременным условием их длительной и безаварийной работы. Естественно, что такие характеристики могут быть обеспечены только при строгом соблюдении технологии на всех стадиях производства конденсаторов и в первую очередь при их вакуумной сушке и пропитке.

Контрольные вопросы

1. Что называется паром и газом?
2. Укажите способы сушки влажных материалов.
3. Для чего производят вакуумную сушку и пропитку конденсаторов?
4. Расскажите об устройстве установки для вакуумной сушки и пропитки конденсаторов.
5. Как устроены насосы ВН-6Г, 6ДВН-1500 и БН-4500 и каковы правила их обслуживания?
6. Для чего служат конденсаторы влаги и охлаждаемые ловушки?
7. Для чего производят тщательную очистку конденсаторов перед загрузкой в шкафы?
8. Какие факторы определяют степень высушиваемости конденсаторов?
9. Расскажите об основных периодах сушки конденсаторов.
10. Как избегают увлажнения насоса в процессе сушки конденсаторов?
11. Чем объясняется понижение температуры конденсаторов при интенсивном выделении влаги?
12. Почему изменяется емкость конденсаторов в процессе сушки?
13. Почему недопустимо нарушение вакуума в период окончательной сушки и при заливке конденсаторов пропитывающей жидкостью?
14. Чем вызвана необходимость герметизации конденсаторов непосредственно после выгрузки из шкафа?
15. Какое влияние оказывают на срок службы конденсаторов нарушения процесса термовакуумной обработки?
16. Каким образом у готовых конденсаторов могут быть выявлены нарушения, допущенные при сушке и пропитке или при сборке?

Глава VIII. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ПРОПИТЫВАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ

§ 56. Необходимость дополнительной очистки пропитывающих жидкостей

Основными пропитывающими жидкостями, используемыми для силовых бумажных конденсаторов, являются конденсаторное и касторовое масла и синтетические электроизоляционные жидкости — хлорированные дифенилы (ТХД и др.). Физико-химические и электрические характеристики этих пропитывающих жидкостей были приведены в табл. 2 (см. § 13).

Хлорированные дифенилы применяют при пропитке конденсаторов, работающих на переменном токе как промышленной частоты, так и повышенных частот. Для конденсаторов постоянного тока основной пропитывающий диэлектрик — касторовое масло. Конденсаторное масло используют для пропитки некоторых типов конденсаторов как переменного, так и постоянного токов.

Перед пропиткой конденсаторов пропитывающие жидкости должны отвечать определенным требованиям, основными из которых являются высокая электрическая прочность и возможно малые диэлектрические потери. Эти требования могут быть обеспечены тогда, когда пропитывающие жидкости не содержат различного рода загрязнений, механических примесей и влаги. Кроме того, пропитывающие жидкости должны быть тщательно обезгажены. Наличие в пропитывающих жидкостях растворенного воздуха, объем которого в обычных условиях может достигнуть 10%, приводит к неизбежному попада-

нию его в процессе пропитки внутрь конденсаторов и ухудшению их качества.

Поступившие на конденсаторные заводы пропитывающие жидкости не всегда отвечают необходимым требованиям. В результате транспортировки и длительного хранения на складах жидкости, постоянно соприкасаясь с атмосферой, увлажняются, что приводит к заметному снижению их первоначальных электрических характеристик, поэтому перед употреблением они нуждаются в сушке, обезгаживании и дополнительной очистке.

В процессе заливки до 30% пропитывающей жидкости не попадает в конденсаторы. Эта часть жидкости, соприкасаясь со стенками шкафа и корпусов конденсаторов, несколько загрязняется, и для повторного ее использования также требуется дополнительная очистка.

Таким образом, конденсаторные заводы вынуждены создавать специальные участки, которые оборудуют не только для сушки и обезгаживания, но и для дополнительной очистки значительных количеств пропитывающих жидкостей.

§ 57. Методы очистки пропитывающих жидкостей

Пропитывающие жидкости, не удовлетворяющие нормам из-за механических примесей, увлажнения, загрязнения или недостаточной степени очистки, всегда могут быть восстановлены и доведены до требуемых норм дополнительной очисткой.

Известно много методов очистки. Применение того или иного метода определяется видом и степенью загрязнения пропитывающей жидкости, поэтому выбору метода всегда должен предшествовать анализ жидкости, который должен дать полное представление о ней как о диэлектрике.

Если пропитывающая жидкость оказалась загрязненной лишь различными механическими примесями, для ее восстановления применяют очистку методом отстоя или фильтрования через пористую среду. Когда жидкость только увлажнена и все остальные ее свойства удовлетворяют нормам, ее обычно сушат распылением под вакуумом. Если же исходная жидкость имеет недостаточную степень очистки или была подвержена воздействию высоких температур в присутствии кислорода и окислилась,

для ее восстановления перечисленные выше механические способы очистки непригодны. В этом случае применяют методы, основанные на способности некоторых пористых тел, так называемых адсорбентов, избирательно поглощать определенные загрязнения, входящие в состав пропитывающих жидкостей.

Имеется и ряд других методов очистки пропитывающих жидкостей. Так, например, для очистки конденсаторного масла используют центрифугирование в специальных аппаратах (в них под действием центробежной силы происходит отделение примесей), промывку чистой водой, регенерацию кислотами и щелочами, которые связывают химические нестойкие примеси. Последний метод применяют для восстановления масел, претерпевших глубокие органические изменения. Однако данные методы очистки в конденсаторном производстве не используются, поэтому здесь не рассматриваются.

Отстой. Очистка методом отстоя заключается в том, что пропитывающая жидкость длительное время находится в покое. Вода и механические примеси, отличающиеся по плотности от пропитывающих жидкостей, оседают на дно или всплывают и затем отделяются от них. Несмотря на то что отстоем удаляются не все загрязнения и вода, этот метод очистки широко применяется и является первой и обязательной стадией, предшествующей всем другим методам очистки.

Метод отстоя крайне прост и экономичен, однако требует много времени. Скорость отстоя зависит от вязкости жидкости и высоты ее слоя. Чем больше вязкость жидкости и высота ее слоя, тем медленнее происходит отстой, так как требуется больше времени для отделения частиц загрязнений от жидкости.

Поскольку вязкость пропитывающих жидкостей уменьшается с повышением температуры, для ускорения отстоя их обычно подогревают. В то же время нагрев жидкостей ограничивается тем, что при высоких температурах возникают конвекционные потоки и происходит взмучивание жидкости пузырьками испаряющейся воды, что в значительной мере замедляет осаждение загрязнений. Поэтому для каждого вида пропитывающей жидкости выбирают оптимальную температуру отстоя: для трихлордифенила и конденсаторного масла в пределах 30—40° С, а для касторового масла, имеющего более высокую вязкость, в пределах 70—80° С.

Фильтрование. Продавливание пропитывающей жидкости через пористую среду с большим количеством капилляров, в которых задерживаются вода и все механические загрязнения, называется фильтрованием.

В качестве фильтрующей среды используют фильтровальные картон и бумагу, плотные ткани, войлок, волокнистый асбест и т. п. Величина капилляров в этих фильтрующих средах даже при их сильном уплотнении остается значительной, но благодаря тому, что частицы жидкости, проходя через такую среду, несколько раз изменяют направления движения, они оставляют механические загрязнения на волокнах фильтрующего материала. Пропитывающие жидкости фильтруют в специальных фильтрах или фильтр-прессах.

Из приведенных выше материалов для фильтрования пропитывающих жидкостей используют преимущественно фильтровальные картон и бумагу, имеющие различную пористость. Наибольшей пористостью обладают мягкие и рыхлые сорта, которые легко впитывают влагу, однако плохо задерживают уголь и тонкий шлам и выделяют много волокон. Поэтому в фильтр-прессах для хорошей фильтрации пропитывающих жидкостей листы мягкого картона (или бумаги) чередуют с листами плотного мелкопористого.

Количество влаги, впитываемой картоном (или бумагой), зависит от его исходного влагосодержания, в связи с чем непосредственно перед фильтрованием картон следует тщательно просушить.

При сильном увлажнении картон теряет фильтрующую способность и механическую прочность и подлежит замене.

Скорость фильтрования в значительной степени зависит от вязкости пропитывающей жидкости. Однако уменьшение вязкости пропитывающей жидкости за счет повышения ее температуры приводит к снижению гигроскопичности картона. При 100° С картон не впитывает влаги. Кроме того, с повышением температуры увеличивается растворимость шлама и воды в пропитывающей жидкости. Поэтому, как и в случае отстоя, фильтрование надо производить при оптимальной для каждой пропитывающей жидкости температуре. Для конденсаторного масла и ТХД температура при фильтровании не должна превышать 40—50° С, для касторового масла — 70—80° С.

Сушка распылением под вакуумом. Этот метод состоит в том, что увлажненную пропитывающую жидкость подогревают и через распылитель (форсунку) подают в бак, в котором поддерживается вакуум. Распыленная до состояния тумана пропитывающая жидкость почти мгновенно отдает всю содержащуюся в ней влагу, которая в процессе испарения откачивается вакуумным насосом. Сама же пропитывающая жидкость собирается в капельки и стекает на дно бака, где не только высушивается, но и обезгаживается.

Скорость испарения воды из пропитывающей жидкости тем больше, чем ниже давление в баке, мельче распылена пропитывающая жидкость и выше ее температура. Сушка пропитывающих жидкостей производится при давлении не более 100 Па, температуре 60—70° С для конденсаторного масла и трихлордифенила и 80—90° С для касторового масла.

Регенерация с помощью адсорбентов. Метод регенерации основан на свойстве некоторых пористых тел поглощать из пропитывающих жидкостей кислоты и полярные примеси и удерживать их на своей поверхности.

К числу адсорбентов относятся: силикагель, ряд сортов глин, называемых отбеливающими землями, аморфные или активированные угли, активированная окись алюминия и некоторые другие вещества.

Регенерацию пропитывающих жидкостей с помощью адсорбентов можно производить двумя способами: непосредственным фильтрованием пропитывающей жидкости через слой адсорбента или смешиванием ее с мелкоразмолотым адсорбентом и последующим отстаиванием и фильтрованием смеси для отделения частиц адсорбента (контактный метод очистки).

В конденсаторном производстве для очистки пропитывающих жидкостей применяют три вида адсорбентов: силикагель и активную окись алюминия — для непосредственного фильтрования и некоторые сорта глин — для контактного метода очистки.

Силикагель — искусственный продукт, представляющий собой не полностью обезвоженную кремниевую кислоту H_2SiO_3 в виде твердых стекловидных зерен пористого строения с равномерным распределением пор. В зависимости от величины пор и формы зерна силикагель делят на мелкопористый и крупнопористый, кусковой и гранулированный.

Для регенерации пропитывающих жидкостей применяют преимущественно крупнопористый силикагель КСК с величиной зерна 2,7—7 мм. Внутренняя поверхность пор силикагеля составляет 300—400 м²/г, что обусловливает большую активность его как адсорбента. Силикагель хорошо извлекает из пропитывающих жидкостей смолы и в меньшей степени кислоты.

Активная окись алюминия — это пористое вещество с высокоразвитой внутренней поверхностью (до 400 м²/г), белого цвета, иногда с кремовым оттенком, которое получают высушиванием студнеобразного гидрата окиси алюминия ($Al_2O_3 \cdot H_2O$), глинозема, извлекаемого из бокситов (горной породы) химическим и термическим путем.

Активную окись алюминия изготовляют в виде цилиндриков высотой от 4 до 25 мм, диаметром от 4 до 6 мм или шариков того же диаметра. В зависимости от насыпной массы ее выпускают двух марок: А-1 с насыпной массой 400—500 г/л и А-2 с насыпной массой 500—750 г/л и поставляют обычно в барабанах из черной кровельной стали. При очистке пропитывающих жидкостей активная окись алюминия хорошо извлекает кислоты и смолы.

Глины — это природные тонко размолотые минеральные вещества, основными составными частями которых являются окись кремния SiO_2 (50—70%) и окись алюминия Al_2O_3 (10—16%). Кроме того, в них имеются в небольших количествах окиси магния, кальция и железа. В естественном состоянии глины содержат значительное количество воды (10—20%).

Глины разных месторождений имеют различную адсорбционную активность.

Глины с высокой адсорбционной активностью можно применять в естественном виде после размола и подсушки. Глины с малой адсорбционной активностью подвергают активированию путем обработки минеральными кислотами и щелочами, в результате чего обнажается их активная поверхность и образуются дополнительные зазоры и капилляры. Внутренняя поверхность пор глин составляет 100—300 м²/г. Глины хорошо извлекают из пропитывающих жидкостей смолы, кислоты и другие загрязнения.

Для очистки пропитывающих жидкостей в конденсаторном производстве широко применяют активированную глину, дающую одинаково хорошие результаты при очистке как конденсаторного и касторового масел, так и хлорированных дифенилов.

Активность адсорбентов определяется не только строением поверхности и химическим составом, но и их влажностью и рабочей температурой. Каждому виду адсорбента соответствует определенное оптимальное содержание воды, при котором он обладает наивысшей адсорбционной способностью. В случае полного обезвоживания адсорбционная способность может упасть до нуля. Сушка при недостаточной температуре тоже не дает положительных результатов, так как вода, заполняющая поры, понижает активность адсорбентов. Поэтому каждый адсорбент перед очисткой должен подвергаться сушке (прокаливанию) при вполне определенной для него температуре, которую устанавливают опытным путем. Так, например, температура сушки силикагеля — 450—500° С, а глины — 140—150° С.

Не меньшее значение для достижения необходимого эффекта очистки имеет температура, при которой производят обработку пропитывающих жидкостей адсорбентом. С повышением температуры понижается вязкость жидкости и облегчается диффузия растворенных в ней смол и кислот, а также улучшается адсорбция. Однако с повышением температуры увеличивается кинетическая энергия молекул, вследствие чего ослабляется способность адсорбента удерживать на своей поверхности извлеченные из жидкости вещества. Поэтому для каждого адсорбента существует оптимальная рабочая температура очистки, которая тем выше, чем выше вязкость жидкости.

Оптимальная температура очистки силикагелем и активной окисью алюминия конденсаторного масла 20—30° С, а ТХД — 30—40° С. Наилучшие результаты очистки глиной конденсаторного масла и ТХД могут быть получены при температуре 50—60° С, а касторового масла — при 70—80° С.

Глины применяют для очистки пропитывающих жидкостей только один раз и после извлечения из них остатков пропитывающей жидкости выбрасывают. В восстановлении глины для повторного ее использования нет необходимости, так как стоимость процесса восстановления примерно равна стоимости свежей глины.

Количество глины, необходимое для очистки, определяют предварительной лабораторной пробой. При очист-

ке масел и ТХД глиной масса ее обычно не превышает 5% массы пропитывающей жидкости.

Силикагель и активную окись алюминия можно использовать для очистки много раз подряд (до 20), каждый раз восстанавливая их отжигом при 600—700° С. В процессе отжига вода испаряется, все органические вещества выгорают и активная поверхность зерен адсорбентов восстанавливается.

Каждый из рассматриваемых методов очистки пропитывающих жидкостей часто применяют изолированно. Однако для достижения необходимого эффекта очистки прибегают и к различным комбинациям этих методов.

§ 58. Оборудование, применяемое для приготовления пропитывающих жидкостей

Участки для приготовления пропитывающих жидкостей — это сложное хозяйство, располагающее различными видами технологического оборудования. Основными видами этого оборудования являются:

баки-хранилища;

фильтр-прессы для очистки от механических примесей;

силикагелевые фильтры или мешалки с отстойниками для очистки пропитывающих жидкостей;

обезгаживатели для вакуумной сушки, обезгаживания и хранения очищенных пропитывающих жидкостей;

перекачивающие насосы;

электропечи для приготовления и восстановления адсорбентов и т. д.

Участки для приготовления пропитывающих жидкостей со всем необходимым оборудованием располагают в изолированных каменных зданиях с огнестойкими перекрытиями и перегородками. Помещения участков оборудуют системой автоматического пожаротушения и усиленной приточно-вытяжной вентиляцией, так как выделяющиеся при очистке пары пропитывающих жидкостей взрывоопасны и вредны для здоровья.

Для очистки масел и хлорированных дифенилов применяют однотипное, но раздельное оборудование, которое можно располагать как обособленно, так и в одних и тех же помещениях. Оборудование и трубопроводы для очистки касторового масла, имеющего высокую вязкость, должны выполняться обогреваемыми.

Пропитывающие жидкости поступают на заводы в железнодорожных цистернах или железных бочках. Жидкости, поступающие в цистернах, сливают в специальные **баки-хранилища**. Жидкости, поставляемые в бочках, обычно хранят на складах до использования. От каждой партии пропитывающей жидкости при получении должна быть взята проба для анализа. Исходные пропитывающие жидкости должны соответствовать ГОСТу или ТУ.

Баки-хранилища представляют собой стальные цилиндрические резервуары в виде железнодорожных цистерн емкостью до 50 т. Их размещают или на открытом воздухе, или чаще всего зарывают в землю. Баки, устанавливаемые на открытом воздухе, обносят каменной стенкой или земляным валом. Подземные баки располагают так, чтобы люки для осмотра и очистки во избежание попадания осадков выступали над уровнем земли. Люки должны иметь надежное уплотнение. Жидкости сливают в баки через выступающие наружу патрубки. Для отбора жидкости в баки вводят трубы, которые приваривают выше дна на 40—50 см, что исключает возможность попадания в них оседающих на дно загрязнений.

Пропитывающие жидкости, поступающие в бочках, необходимо хранить под навесом или в помещении склада для защиты их от действия солнца и дождя. Чтобы уменьшить проникновение наружного воздуха в бочки, их устанавливают пробками вниз. Во избежание загрязнения пропитывающей жидкости вскрывать бочки следует после тщательной очистки пробок и всей поверхности вокруг них. Если холодные бочки подают в теплое помещение, перед вскрытием их необходимо прогреть до окружающей температуры, чтобы предотвратить увлажнение пропитывающей жидкости в результате конденсации паров воды. Вскрывать бочки надо только специальными четырехгранными ключами.

Фильтр-пресс применяют для непосредственной очистки жидкостей от механических примесей и влаги, а также для отделения частиц адсорбента при контактном методе очистки глинами.

Фильтр-пресс (рис. 80) состоит из станины *8*, на которой установлен ряд подвижных чугунных пластин и рам *11*. Между пластинами и рамами винтом *10* зажимают листы фильтровального картона (или бумаги). Пустые внутри рамы вместе с листами картона образуют ка-

меры, сообщающиеся со сквозным каналом, куда поступает исходная жидкость. Пластины с обеих сторон имеют простроганную сетку каналов, в которых собирается жидкость, прошедшая из камеры через фильтровальный картон. Эти каналы сообщаются с общим сквозным каналом для отвода профильтрованной жидкости. Сквозные каналы для поступления исходной и отвода профильтрованной жидкости образованы отверстиями, совпадающими в нижних углах чередующихся пластин, рам и листов

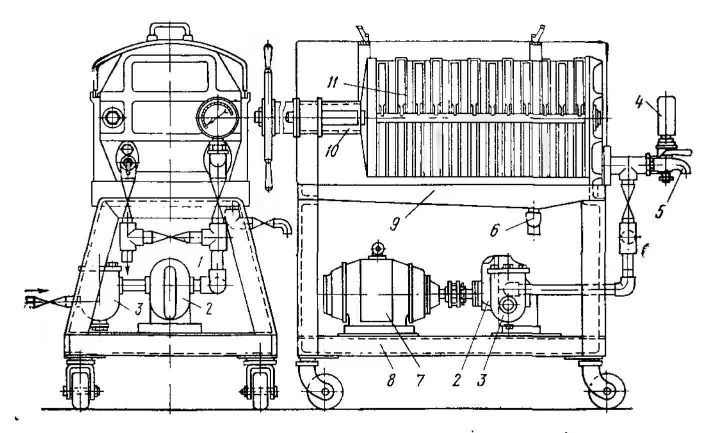


Рис. 80. **Фильтр-пресс**

фильтровального картона. Все рамы и пластины соединены параллельно, в результате чего получаются большие фильтрующие поверхности и достигается высокая производительность.

Исходная жидкость в камеры рам подается через сетчатый фильтр *3* с помощью шестеренчатого насоса *2*. Давление жидкости контролируют манометром *4*. Чтобы следить за наполнением камер жидкостью и выпускать воздух из рабочей части фильтр-пресса, отводной канал снабжен патрубком с вентилем *5*. Фильтр-пресс имеет также обводную линию с трехходовым вентилем *1*. Для сбора просачивающейся из фильтр-пресса жидкости установлена сборная ванна *9* со спускным вентилем *6*.

Перед пуском в работу все пластины и рамы фильтр-пресса промывают свежей сухой пропитывающей жидкостью и между ними закладывают нарезанные по размеру и с пробитыми отверстиями листы фильтровального

картона (или бумаги). Листы картона предварительно должны быть просушены при 80—90° С в течение 24 ч. Под вакуумом время сушки может быть значительно сокращено. Просушенный картон до употребления необходимо хранить в герметичной таре.

В каждую секцию фильтр-пресса закладывают одинаковое количество листов картона, которое определяют степенью загрязнения жидкости; обычно берут 3—5 листов. Всю систему пластин, рам и картона плотно сжимают, поворачивая штурвал зажимного винта.

При пуске фильтр-пресса открывают впускной и выпускной вентили и включают электродвигатель *7* шестеренчатого насоса. Вначале жидкость на выходе из фильтр-пресса сильно пенится и может содержать волокна картона, поэтому в первые 4—5 мин ее следует направлять на сторону грязной жидкости.

В процессе фильтрования нормальное давление жидкости не должно превышать $5 \cdot 10^5$ Па. Увеличение давления указывает на засорение фильтровального картона и может привести к его разрыву, что обнаруживается по слабому шипению внутри фильтр-пресса. Следовательно, менять картон необходимо до давления $7 \cdot 10^5$ Па.

Для смены фильтровального картона фильтр-пресс останавливают, пластины и рамы раздвигают и со стороны поступления жидкости вынимают по одному листу картона. Чтобы лучше использовать картон, новые листы вкладывают с противоположной стороны пакета.

Фильтровать необходимо сравнительно сухую пропитывающую жидкость. При фильтровании увлажненной жидкости картон быстро увлажняется, поэтому приходится не только часто менять его, но и опасаться разрыва, приводящего к порче очищенной жидкости. Для очистки вязких пропитывающих жидкостей (касторовое масло) используют обогреваемые (обычно горячей водой) фильтр-прессы.

С и л и к а г е л е в ы й   ф и л ь т р применяют для очистки масел и хлорированных дифенилов фильтрованием через слой силикагеля (активной окиси алюминия).

Силикагелевый фильтр (рис. 81) представляет собой цилиндрический бак *1* с крышкой *10*, в котором помещен стальной стакан *2*, заполненный силикагелем *3*. В верхней части стакан отбортовкой опирается на кольцо *4* бака с уплотняющей прокладкой. Для прохождения и рав-

номерного распределения фильтруемой пропитывающей жидкости дно стакана выполнено в виде перфорированного диска *8*. На дно стакана укладывают проволочную сетку *7* и фильтровальный материал (картон, бельтинг, сукно). Сетка предотвращает плотное прилегание фильтровального материала к дну стакана.

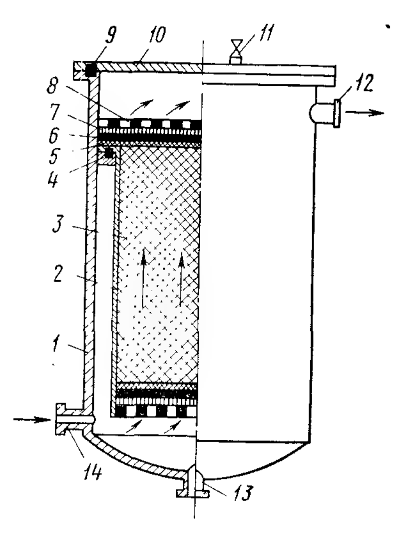


Рис. 81. Силикагелевый фильтр:

1 — цилиндрический бак, *2* — выемной стакан, *3* — силикагель, *4* — кольцо с уплотняющей прокладкой, *5* — фильтровальный картон, *6* — сукно, *7* — сетка, *8* — перфорированный диск, *9* — уплотняющая прокладка, *10* — крышка, *11* — кран для выпуска воздуха, *12* и *14* — патрубки для выхода и подачи пропитывающей жидкости, *13* — патрубок для чистки бака

Стакан полностью заполняют адсорбентом, поверх которого укладывают также фильтровальный материал, проволочную сетку и перфорированный диск, плотно прижимаемый гайками к кольцу бака. На крышке бака установлен кран *11* для выпуска воздуха при заполнении фильтра пропитывающей жидкостью. Верхний диск с фильтровальным материалом служит для задержки уносимых пропитывающей жидкостью частиц адсорбента.

Процесс фильтрации осуществляется снизу вверх, поскольку фильтровальный материал меньше забивается частицами адсорбента и обеспечиваются лучшие условия для наиболее полного и быстрого вытекания воздуха из бака в начале фильтрации. Исходную пропитывающую жидкость подают в силикагелевый фильтр под давлением до 10^5 Па. Очищенная пропитывающая жидкость собирается в отдельном баке.

Фильтры заряжают предварительно просушенным силикагелем, который во избежание увлажнения следует хранить в герметичной таре. Заполняют фильтр силикагелем через крышку бака, укладывая его ровными слоями и не допуская образования пустот, особенно около стенок.

Силикагель в фильтре заменяют при заметном снижении его адсорбционной способности, что определяют взятием пробы профильтрованной жидкости.

М е ш а л к и предназначены для смешения пропитывающей жидкости с глиной при контактном методе очистки и используются при очистке как масел, так и хлорированных дифенилов.

Мешалка представляет собой стальной цилиндрический бак, в крышке которого закреплен вал с лопастями, находящимися внутри бака. Дно бака имеет конусную форму. В верхнюю цилиндрическую часть бака вварен трубопровод для подачи исходной пропитывающей жидкости, а в дно бака — трубопровод для забора пропитывающей жидкости после смешения ее с глиной. Бак снабжен электродвигателем с редуктором для вращения вала мешалки и имеет люк для засыпки глины. Частота вращения лопастей мешалки 50—70 об/мин.

Для более эффективного перемешивания пропитывающей жидкости с глиной мешалка имеет наружный трубопровод с перекачивающим насосом, с помощью которого осуществляется циркуляция смеси. Смесь забирается со дна бака и подается в бак сверху.

Бак мешалки для нагрева пропитывающей жидкости снабжен водяным подогревом. Наружная поверхность бака имеет теплоизоляцию. При очистке бак заполняют пропитывающей жидкостью. Затем включают электродвигатель мешалки и при перемешивании в пропитывающую жидкость засыпают предварительно просушенную глину. Обработку жидкости продолжают в течение 20—30 мин при непрерывном перемешивании во избежание осаждения глины. Дополнительное перемешивание путем циркуляции производят периодически, включая перекачивающий насос. После обработки смесь пропитывающей жидкости с глиной поступает из мешалки в отстойник.

Глину для засыпки в мешалку обычно подают определенными дозами с помощью закрытого ковшового транспортера, что улучшает условия труда обслуживающего персонала и предотвращает загрязнения и быстрое увлажнение глины.

О т с т о й н и к и предназначены для отстоя пропитывающих жидкостей после смешения их с глиной, а также для сбора и отстоя загрязненных и увлажненных пропитывающих жидкостей.

Для отстоя глины применяют вертикальные цилиндрические баки с конусным дном, снабженные обогревом

и теплоизоляцией. Конусная часть дна оканчивается задвижкой «лудло» для спуска глины после отстоя. Кроме того, в нижней части бака для его очистки предусмотрен люк с крышкой.

Бак заполняют смесью пропитывающей жидкости с глиной по трубопроводу, вваренному в верхней части бака. Пропитывающую жидкость по мере ее отстоя забирают через трубопроводы, вваренные по высоте бака. Пробу берут при помощи краников, установленных по высоте бака на одном уровне с заборными трубопроводами.

Нормальная продолжительность отстоя пропитывающей жидкости 24 ч. Для ускорения обработки пропитывающей жидкости можно сокращать продолжительность отстоя. Однако при последующей фильтрации жидкости требуется более частая замена фильтровального материала. Накапливающуюся глину извлекают из отстойника, отжимают, осушивают от остатков пропитывающей жидкости и выбрасывают.

Обезгаживатели служат для окончательной сушки, обезгаживания и хранения очищенных пропитывающих жидкостей. Обезгаживатель представляет собой герметичный цилиндрический бак, в верхней части которого находятся форсунки для распыления поступающей пропитывающей жидкости. В средней части бака расположены полки, по которым после распыления стекают капельки пропитывающей жидкости, в результате чего происходит ее дополнительная сушка и обезгаживание.

Вакуум в баке создают при помощи вакуумного насоса, который трубопроводом соединен с крышкой бака. На крышке бака расположены также люк для периодической чистки и смотровые окна.

Забор просушенной и обезгаженной пропитывающей жидкости производят по трубопроводу, вваренному в дно бака. К этому трубопроводу приварен бачок с вентилями на входе и выходе для отбора пробы без нарушения вакуума в обезгаживателе. Перед заполнением бачка пропитывающей жидкостью воздух из него откачивают, для чего бачок через клапан сообщается с вакуумной линией.

Нагрев пропитывающей жидкости в баке обезгаживателя производится водяным обогревом. Наружные стенки бака покрыты теплоизоляцией.

Для обезгаживания пропитывающих жидкостей применяют также обезгаживающие колонки. Колонка представляет собой металлический цилиндр, в который вставлены два сетчатых цилиндра разного диаметра. Между стенками сетчатых цилиндров засыпают мелкие алюминиемые кольца. В колонке с помощью вакуумного насоса создают вакуум.

Пропитывающая жидкость поступает сверху колонки; попадая между сетчатыми цилиндрами, она растекается по кольцам тонкой пленкой и легко обезгаживается. Обезгаженная пропитывающая жидкость скапливается в сборнике, установленном под колонкой.

Для обезгаживания можно применять несколько последовательно соединенных колонок (ступенчатое обезгаживание) с индивидуальными вакуумными насосами. При этом степень вакуума повышается в каждой последующей ступени обезгаживания. Окончательное обезгаживание производят при остаточном давлении не более 5 Па.

Обезгаживатели и обезгаживающие колонки для измерения в них температуры и вакуума, а также для определения степени обезгаживания (воздухосодержания) пропитывающей жидкости снабжают измерительной аппаратурой.

Перекачивающие насосы предназначены для перекачивания пропитывающих жидкостей при их приготовлении. Для этой цели используют центробежные герметичные электронасосы ЦНГ.

Центробежный электронасос ЦНГ представляет собой герметически закрытую систему без сальниковых уплотнений. Насос предназначен для перекачивания агрессивных жидкостей, а также жидкостей, находящихся под вакуумом.

Электронасосы сложны по устройству и техническому обслуживанию, поэтому к их обслуживанию допускаются лица, хорошо освоившие материальную часть, знающие правила эксплуатации электронасосов и ухода за ними.

Для сушки адсорбентов применяют тупиковые электропечи с автоматической регулировкой температуры.

Глину сушат в противнях, устанавливаемых в печи в несколько ярусов. В противни глину насыпают ровным слоем толщиной 50—60 мм. В глине не должно быть крупных частиц, иначе ее следует просеять. Продолжительность сушки при 140—150° С не менее 3—4 ч. В про-

цессе сушки глину периодически перемешивают лопаткой. Окончание сушки глины определяют по прекращению появления вулканчиков от испаряющейся влаги.

Силикагель и окись алюминия сушат аналогичным образом при 450—500° С. Хранят просушенный адсорбент в герметичной таре.

§ 59. Технология приготовления пропитывающих жидкостей

Приготовление пропитывающих жидкостей заключается в том, чтобы дополнительной очисткой и обезгаживанием довести их до норм, обеспечивающих получение конденсаторов высокого качества.

Непосредственно перед пропиткой жидкости должны соответствовать следующим основным требованиям:

пробивное напряжение в стандартном разряднике (с расстоянием между электродами 2,5 мм) для конденсаторного масла должно составлять не менее 60 кВ (24 В/мкм), а для хлорированных дифенилов и касторового масла — не менее 50 кВ (20 В/мкм);

тангенс угла диэлектрических потерь не должен превышать 0,15% для конденсаторного масла при 70° С, 1,5% для хлорированных дифенилов и 4% для касторового масла при 90° С;

воздухосодержание по объему не должно превышать 0,2%;

кислотное число как для конденсаторного масла, так и для хлорированных дифенилов допускается не более 0, 02 мг, а для касторового масла не более 0,3 мг КОН на 1 г жидкости.

Электрическая прочность и тангенс угла диэлектрических потерь пропитывающих жидкостей очень чувствительны к различного рода загрязнениям. По этим показателям, резко ухудшающимся при малейших загрязнениях, оценивают качество пропитывающих жидкостей в процессе их очистки.

Схема технологического процесса приготовления трихлордифенила показана на рис. 82. Исходная пропитывающая жидкость из бака-хранилища *БХ* или из бака отработавшей жидкости *БО* при помощи перекачивающего насоса *Н* подается в бак предварительного подогрева *БП,* где нагревается до 50—60° С, а затем через фильтр-пресс *ФП1* направляется в бак сушки *БС* под вакуумом.

Проходя через фильтр-пресс, жидкость очищается от механических загрязнений, а поступая в бак сушки, распыляется под вакуумом и освобождается от влаги.

Для определения дальнейшего технологического процесса обработки из бака сушки отбирают пробу. Если пропитывающая жидкость удовлетворяет нормам по тангенсу угла диэлектрических потерь и незначительно отличается от них по электрической прочности, ее из бака сушки через фильтр-пресс *ФП2* (или помимо него) направляют в бак окончательного обезгаживания *ОД*. После дополнительной фильтрации и окончательного обезгаживания жидкость подсушивается и, как правило, приобретает необходимые характеристики. Если же пропитывающая жидкость не удовлетворяет нормам ни по тангенсу угла диэлектрических потерь, ни по электрической прочности, ее подвергают дополнительной очистке адсорбентами.

К обработке адсорбентами чаще всего приходится прибегать при использовании сильно загрязненных отработавших жидкостей. Жидкость можно очищать или фильтрацией через окись алюминия, или контактным методом с помощью глины.

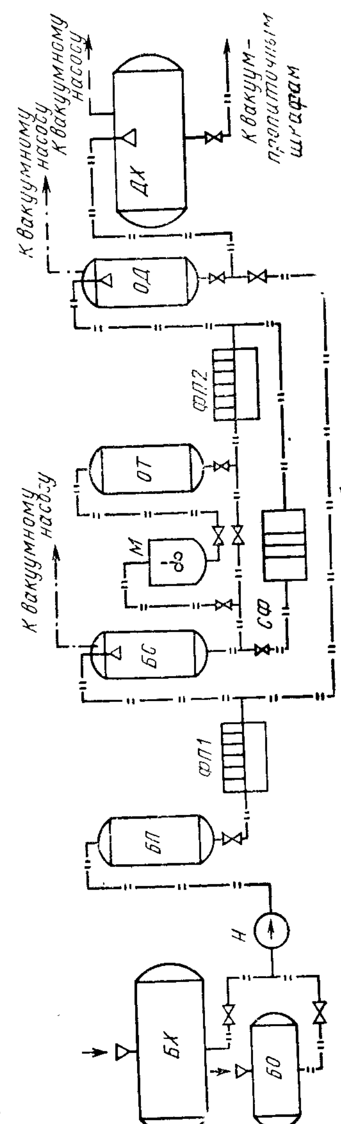


Рис. 82. Схема технологического процесса приготовления трихлордифенила

При очистке окисью алюминия жидкость из бака сушки прогоняют через фильтр *СФ* и подают в бак окончательного обезгаживания. В фильтре жидкость освобождается от загрязнений, влияющих главным образом на величину тангенса угла диэлектрических потерь. С уменьшением тангенса угла диэлектрических потерь одновременно уменьшается кислотное число и увеличивается электрическая прочность пропитывающей жидкости.

При очистке глиной жидкость из бака сушки поступает в мешалку *М,* где перемешивается с просушенной глиной, а затем насосом перекачивается в отстойник *ОТ*. Отстоявшуюся в отстойнике жидкость прогоняют через фильтр-пресс *ФП2* и также направляют в бак окончательного обезгаживания. В мешалке глина, вступая в контакт с жидкостью, адсорбирует загрязнения, а в отстойнике вместе с загрязнениями осаждается на дно бака. Жидкость, проходя через фильтр-пресс, освобождается от неосевших частиц глины и других механических загрязнений.

Из бака окончательного обезгаживания также отбирают пробу жидкости. Если пропитывающая жидкость не удовлетворяет нормам, ее перекачивают в бак сушки для повторной очистки. Пропитывающая жидкость, удовлетворяющая нормам, из бака окончательного обезгаживания под вакуумом с помощью вакуумно-плотного насоса или вследствие разности уровней баков перекачивается в обезгаживатель для хранения *ДХ*. Там готовая жидкость дополнительно обезгаживается и до момента заливки в конденсаторы находится под вакуумом при 50—70° С.

Технология очистки конденсаторного и касторового масел не отличается от технологии очистки трихлордифенила, поэтому и технологическая схема обработки их аналогична схеме очистки трихлордифенила. Однако при очистке касторового масла из-за его высокой вязкости при нормальной температуре все трубопроводы для перекачки необходимо подогревать. Подогрев обычно осуществляют прокладкой обогреваемых водой труб параллельно масляным трубопроводам с нанесением общей теплоизоляции. Касторовое масло, поступающее в бочках, разогревают, после чего сливают в бак предварительного подогрева.

Ввиду токсичности паров хлорированных дифенилов к оборудованию предъявляют более высокие требования

в отношении его герметичности. Испарение хлорированных дифенилов в окружающую среду не допускается. Очистительные установки необходимо оборудовать усиленной приточно-вытяжной вентиляцией. По тем же причинам при очистке хлорированных дифенилов вместо обычных фильтр-прессов во всех случаях используют герметичные.

Действительные технологические схемы приготовления пропитывающих жидкостей более сложны и громоздки по сравнению с рассмотренной. Эта сложность состоит в том, что для более производительной и безаварийной работы в отдельных узлах схемы обычно предусматривают установку нескольких однотипных элементов оборудования для их параллельной работы. Кроме того, систему трубопроводов, связывающую между собой отдельные виды оборудования, выполняют таким образом, чтобы имелась возможность направлять пропитывающую жидкость из любого бака или аппарата в любой другой бак или аппарат как непосредственно, так и через аппараты для очистки.

Пропитывающую жидкость можно перекачивать с помощью герметичных насосов, путем создания разности давлений в баках и самотеком, когда баки расположены на разных уровнях.

Для удобства управления при очистке все вентили располагают на коллекторе, а трубопроводы и баки окрашивают в условные цвета. Современные участки по приготовлению жидкостей оборудуют распределительными щитами с мнемоническими схемами для наглядного управления оборудованием и с рукоятками управления вентилями. На этих же щитах устанавливают контрольно-измерительную аппаратуру для измерения температуры, давления и т. д.

Участки для очистки конденсаторного масла очень опасны при пожаре, поэтому для быстрого удаления больших количеств масла при возникновении пожара маслоочистительные участки оборудуют аварийным маслостоком, связывающим все баки участка с баком для приема аварийного масла.

Бак для приема аварийного масла закапывают в землю за пределами участка, и он всегда должен быть свободным.

Конкретные технологические схемы приготовления пропитывающих жидкостей и порядок выполнения опе-

раций описывают в заводских технологических инструкциях.

В обязанности обслуживающего персонала при приготовлении пропитывающих жидкостей входит:

четкое знание технологической схемы и последовательности выполнения отдельных операций;

знание устройства и правил эксплуатации оборудования;

подготовка оборудования, уход за ним и наблюдение за его работой;

подготовка адсорбентов;

поддержание заданных режимов температуры, вакуума, продолжительности обработки пропитывающих жидкостей на каждой технологической операции;

отбор проб;

ведение технологического журнала;

строгое соблюдение правил техники безопасности и пожарной безопасности.

Для качественного приготовления пропитывающих жидкостей, производительного и экономичного использования оборудования от обслуживающего персонала наряду с общей теоретической подготовкой требуется большой практический навык.

§ 60. Испытания пропитывающих жидкостей

Пропитывающие жидкости в соответствии с ГОСТом или ТУ подвергаются различным физико-химическим и электрическим испытаниям.

Испытания сводятся к определению следующих показателей: плотности, вязкости, температуры застывания и вспышки, зольности, содержания механических примесей и водорастворимых кислот и щелочей, натровой пробы и кислотного числа, цвета и прозрачности, удельного объемного электрического сопротивления, диэлектрической проницаемости, электрической прочности и тангенса угла диэлектрических потерь. Кроме того, при экспериментальных и исследовательских работах пропитывающие жидкости могут быть подвергнуты глубокому химическому анализу, определению газостойкости и другим испытаниям.

Однако как при поступлении на завод, так и при дополнительной очистке пропитывающие жидкости испытывают лишь по отдельным показателям, достаточно

полно характеризующим их электроизоляционные свойства. К числу таких показателей относятся электрическая прочность, тангенс угла диэлектрических потерь и кислотное число. Непосредственно перед заливкой в конденсаторы определяют содержание растворенного воздуха. При приемных испытаниях также обязательно определение температуры вспышки.

Приемные испытания пропитывающих жидкостей и испытания в процессе их очистки производят в экспресс-лабораториях, которые оснащают необходимыми приборами, испытательными установками и реактивами. Полные испытания пропитывающих жидкостей и исследовательские работы с ними проводят в специальных лабораториях.

Отбор проб при испытаниях пропитывающих жидкостей занимает особое место. Неправильно взятая проба может привести к ложным выводам, поэтому отбор проб можно поручать только хорошо обученным работникам. Проба должна отражать истинное состояние пропитывающей жидкости и может быть полноценной и достоверной только в том случае, если в нее не попадают загрязнения и влага от соприкосновения с посудой и испытательными электродами или из атмосферы.

Для отбора проб применяют плотно закрывающиеся стеклянные или эмалированные банки с широким горлом емкостью 1,5 л. Банки должны быть тщательно промыты нитрорастворителем, дистиллированной водой и просушены при 100—120° С в течение 2 ч.

Перед взятием пробы банку дважды ополаскивают испытуемой пропитывающей жидкостью, затем заполняют доверху и тщательно закрывают. Когда пробы берут из баков, то через вентиль предварительно спускают 20—30 л пропитывающей жидкости для удаления отстоя и промывки трубопроводов.

Отбор проб из бочек производят с помощью стеклянных, оттянутых с одного конца, трубок. Перед взятием пробы бочку необходимо покачать для смешения пропитывающей жидкости.

Банки с пропитывающей жидкостью или пустые, внесенные в теплое помещение, во избежание конденсации паров нельзя открывать, пока они не нагреются до температуры помещения.

Определение электрической прочности. Испытание пропитывающих жидкостей на пробой производят между

дисковыми с закругленными краями электродами диаметром 25 мм. При стандартном испытании расстояние между электродами устанавливают 2,5 мм Электроды встроены в стенки сосуда емкостью 500 см³, в который заливают пропитывающую жидкость. Электроды должны быть погружены в пропитывающую жидкость не менее чем на 15 мм. Расстояние между электродами дисков проверяют специальным калибром.

Необходимо тщательно следить за чистотой сосуда и электродов. Перед каждым испытанием сосуд, электроды, термометр и палочку для помешивания следует промывать растворителями и высушивать в термостате. При испытании конденсаторного и касторового масел для промывки применяют нитрорастворитель РДВ или этиловый спирт, при испытании хлорированных дифенилов — ацетон. Дополнительно сосуд и электроды 2—3 раза промывают испытуемой пропитывающей жидкостью. Касторовое масло при промывке сосуда и электродов предварительно нагревают до 60—70° С.

Для испытания пропитывающую жидкость в сосуд заливают осторожно, небольшой струей, направляя ее на стенку сосуда во избежание образования пузырьков. После этого жидкости дают отстояться 10—15 мин, чтобы удалить пузырьки воздуха.

Испытание конденсаторного масла и трихлордифенила на пробой производят при температуре 20° С, а касторового масла ввиду его повышенной вязкости — при 65° С. Для испытания применяют высоковольтную установку переменного тока АИМ-80 (рис. 83). Описание и правила обслуживания установки приводятся в инструкции по эксплуатации.

Для каждого образца пропитывающей жидкости проводится шесть пробоев. За пробивное напряжение принимают среднеарифметическое значение напряжений пяти последних пробоев. Напряжение первого пробоя не учитывается. Результаты испытания заносят в протокол испытаний.

Электрическая прочность пропитывающей жидкости определяется как отношение величины пробивного напряжения к промежутку 2,5 мм стандартного разрядника.

Определение тангенса угла диэлектрических потерь. Тангенс угла диэлектрических потерь измеряют в специальных электродах, одна из конструкций которых по-

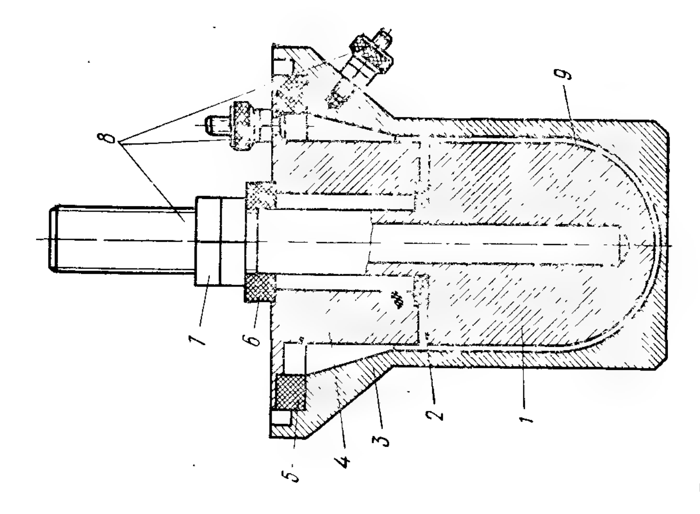


Рис. 84. Электроды для измерения тангенса угла диэлектрических потерь пропитывающих жидкостей

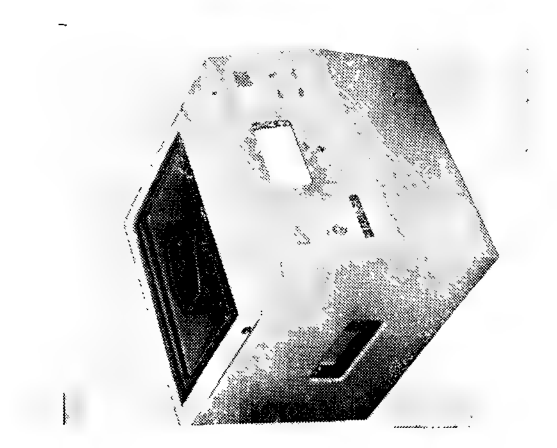


Рис. 83. Установка АИМ-80

казана на рис. 84. Электрод состоит из стакана *3*, охранного кольцевого электрода *4* и измерительного электрода *1*. Стакан, представляющий внешний электрод, а также кольцевой и измерительный электроды изготовляют из нержавеющей стали с совершенно гладкими поверхностями. Охранный электрод опирается на кольца *2* и *5*, вырезанные из органического стекла или другого изоляционного материала. Измерительный электрод опирается на кольцо *6* из органического стекла, которое, в свою очередь, опирается на охранный электрод и зажимается с помощью гайки *7*. Дно стакана и поверхность измерительного электрода образуют зазор *9*, который заполняется пропитывающей жидкостью. Для подключения в измерительную схему каждый из трех электродов снабжен контактным отводом *8*.

Перед измерениями электроды промывают растворителями, затем в дистиллированной воде и просушивают при 100—120° С в термостате. Пробу пропитывающей жидкости для ускорения измерения заливают в предварительно разогретые электроды. При подготовке электродов и заливке пробы следует соблюдать предельную аккуратность. Запрещается касаться руками внутренних поверхностей электродов и испытуемой жидкости.

Величина тангенса угла диэлектрических потерь пропитывающих жидкостей в сильной степени зависит от температуры: чем выше температура, тем отчетливее видна разница между хорошей и плохой пропитывающими жидкостями. Поэтому принято тангенс угла диэлектрических потерь конденсаторного масла измерять при температуре 70° С, а хлорированных дифенилов и касторового масла — при 90° С. Измерения тангенса угла диэлектрических потерь производят с помощью высоковольтного моста Р-5026 при напряженности электрического поля 1 В/мкм и частоте 50 Гц.

Определение кислотного числа. Количество миллиграммов едкого кали, которое необходимо для нейтрализации всех свободных кислот и кислых соединений, входящих в состав 1 г пропитывающей жидкости, называется кислотным числом.

Это число указывает на начальную стадию окисления пропитывающей жидкости, когда другие свойства еще не изменились.

Метод определения кислотного числа заключается в том, что из пропитывающей жидкости извлекают кипящим этиловым спиртом кислоты и затем титруют их едким кали.

Определение температуры вспышки. Температура, при которой пары пропитывающей жидкости, нагреваемой в закрытом тигле, образуют с воздухом смесь, вспыхивающую при поднесении к ней пламени без загорания самой пропитывающей жидкости, называется температурой вспышки.

Температура, превышающая температуру вспышки, при которой пропитывающая жидкость загорается и горит не менее 5 с, называется температурой воспламенения. Чем ниже температура вспышки пропитывающей жидкости, тем больше ее испаряемость. Поэтому определение температуры вспышки важно не только с точки зрения образования вредных для здоровья и взрывоопасных газов, но и с точки зрения загрязнения пропитывающих жидкостей примесями легких фракций. В частности, конденсаторное масло в качестве примесей может содержать бензин и керосин.

Конденсаторное масло должно иметь температуру вспышки не ниже 135° С. Для касторового масла температура вспышки не допускается ниже 280° С, а для трихлордифенила — ниже 150° С.

Определение воздухосодержания. Пропитывающие жидкости, находясь на воздухе, поглощают его. Количество поглощенного воздуха пропорционально давлению воздуха над пропитывающей жидкостью и в некоторой степени зависит от температуры. В состоянии насыщения (равновесия) при данной температуре и давлении воздуха над пропитывающей жидкостью в ней содержится строго определенное количество воздуха. Например, при давлении 10^5 Па и температуре 20° С конденсаторное масло в состоянии насыщения содержит около 10% растворенного воздуха по объему, а при давлении 10 Па — всего лишь 0,001%.

Маловязкие пропитывающие жидкости поглощают воздуха больше, чем высоковязкие. С повышением температуры растворимость воздуха в маловязких жидкостях увеличивается, а в высоковязких — уменьшается.

Наличие растворенного воздуха способствует возникновению процессов ионизации, приводящих к разложению пропитывающей жидкости и сокращению срока службы конденсаторов. Поэтому для повышения качества и надежности конденсаторы пропитывают хорошо

обезгаженными пропитывающими жидкостями. Количественную оценку содержания воздуха, растворенного в пропитывающей жидкости, производят приборами для определения газосодержания.

Прибор для определения газосодержания пропитывающей жидкости (рис. 85) состоит из стеклянного цилиндра (сосуда) 7, герметично уплотненного металлическими дисками. На верхнем диске вварены патрубки: с клапаном 1 — для подключения к вакуумному насосу, с клапаном 2 — для сообщения сосуда с атмосферой, с манометром 3 — для измерения давления в сосуде. Нижний диск имеет два патрубка: один с вентилем 5 и распылителем 4 служит для впуска и распыления пропитывающей жидкости, другой с вентилем 6 — для слива пропитывающей жидкости из сосуда. Шкала 8, нанесенная на цилиндре, предназначена для измерения объема пропитывающей жидкости.

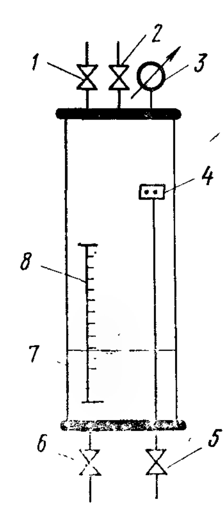


Рис. 85. Устройство прибора для определения газосодержания пропитывающих жидкостей

Перед измерением прибор проверяют на натекание, которое не должно превышать 4 Па за 10 мин, и промывают пропитывающей жидкостью, подлежащей испытанию.

Сосуд откачивают до заданного давления (10 Па) и клапаном отключают от вакуумного насоса. Затем впускают в него пропитывающую жидкость равномерно в течение 10 мин, благодаря чему пропитывающая жидкость, проходя через распылитель, успевает обезгазиться. По окончании впуска измеряют объем пропитывающей жидкости и давление в сосуде.

Воздухосодержание в процентах рассчитывают как отношение объема освободившегося из пропитывающей жидкости воздуха, приведенного к нормальным условиям (давлению 10^5 Па и температуре 20° С), к объему пропитывающей жидкости

$$X = \frac{(V_п - V_ж)\cdot(p_2 - p_н) - V_п p_1}{10^5 \cdot V_ж} \cdot 100\ \%,$$

где $V_п$ — полный объем сосуда, включая объем патрубков и манометра, см³; $V_ж$ — объем пропитывающей жидкости, см³; p_1 — давление в сосуде до впуска пропитывающей жидкости, Па; p_2 — давление в сосуде в конце обезгаживания пропитывающей жидкости, Па; $p_н$ — разность давлений, полученная при определении натекания сосуда, Па.

Контрольные вопросы

1. Для чего необходимо производить очистку и обезгаживание пропитывающих жидкостей?
2. Какие методы применяют для очистки пропитывающих жидкостей?
3. Как подготовляют силикагель, глину и фильтровальную бумагу для очистки пропитывающих жидкостей?
4. Каким требованиям должны удовлетворять пропитывающие жидкости перед заливкой в конденсаторы?

Глава IX. ИСПЫТАНИЯ СИЛОВЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

§ 61. Государственные стандарты и технические условия на изготовление и поставку конденсаторов

Промышленность должна выпускать изделия, обладающие высокими качественными характеристиками, обеспечивающими их экономичность и надежность в эксплуатации. Выпуск недоброкачественных изделий приводит к потерям металла, изоляционных материалов, топлива, электроэнергии, рабочего времени и мощностей оборудования.

Требования, которым должны отвечать силовые конденсаторы, устанавливаются, как и для любой другой продукции, Государственными общесоюзными стандартами (ГОСТами), техническими условиями (ТУ), эталонами, чертежами и утвержденными технологическими процессами.

ГОСТ — это документ, в котором указаны основные типовые параметры продукции и требования к ее качеству. ГОСТы обязательны для всех отраслей промышленности и составляются на все важнейшие виды массовой и крупносерийной продукции.

ТУ — это перечень технических требований, предъ-

являемых к тому или иному виду продукции, не предусмотренной ГОСТами.

Чертежи, технологические процессы и эталоны, разрабатываемые и утверждаемые в установленном порядке, позволяют при изготовлении изделий обеспечить выполнение технических требований и норм, предусмотренных ГОСТами или ТУ.

ГОСТы и ТУ на конденсаторы обычно состоят из следующих разделов:

общая характеристика и область применения;
типы, основные параметры и размеры;
технические требования;
правила приемки и методы испытаний;
маркировка;
упаковка, хранение и транспортирование;
гарантии изготовителя и т. д.

По первым двум разделам пояснений не требуется. В разделе «Технические требования» рассматриваются условия и режим работы, номинальные значения (по напряжению, емкости, мощности) и допускаемые пределы отклонений от номинальных значений, виды и длительность испытаний, значения испытательных величин и т. п.

В разделе «Правила приемки и методы испытаний» указываются порядок и методика проведения испытаний, необходимые испытательные установки, измерительные приборы и аппаратура. При этом испытания конденсаторов подразделяются на приемо-сдаточные, типовые и периодические.

При приемо-сдаточных испытаниях каждый выпускаемый заводом конденсатор подвергается внешнему осмотру, испытанию на герметичность, а также электрическим испытаниям в такой последовательности: измерение емкости, испытание напряжением, повторное измерение емкости, измерение тангенса угла потерь и т. д.

При типовых и периодических испытаниях детально изучают свойства конденсаторов для выявления их соответствия требованиям ГОСТа или ТУ. Во время таких испытаний определяют характеристики конденсаторов не только при нормальных условиях, но и при утяжеленных режимах, а также после чередующихся режимов (циклов).

Приемо-сдаточные, типовые и периодические испытания проводятся отделом технического контроля завода (ОТК) на контрольно-испытательной станции (КИС),

оборудованной испытательными установками и измерительными приборами.

В разделе «Маркировка» указываются все необходимые параметры и данные, которые должны быть нанесены на каждом выпускаемом конденсаторе. Для маркировки конденсаторов применяют заводские щитки, где указывают организацию, в систему которой входит завод-изготовитель, завод-изготовитель или его товарный знак, тип конденсатора, его заводской номер, рабочее и испытательное напряжения, номинальные емкость и мощность, частоту тока, схему соединения, год выпуска и номер ГОСТа или ТУ. Заводские щитки прочно закрепляют на корпусе конденсатора.

В разделе «Упаковка, хранение и транспортирование» излагаются способы упаковки, предохраняющие конденсаторы от повреждений и попадания в них влаги во время транспортирования и хранения.

Гарантии изготовителя в ГОСТе или в ТУ обязывают завод-изготовитель безвозмездно заменять или ремонтировать вышедшие из строя конденсаторы при условии соблюдения потребителем правил хранения, монтажа и эксплуатации. Обычно гарантийный срок на конденсаторы устанавливают от одного до трех лет.

Строгое соблюдение ГОСТов и ТУ при изготовлении и приемке конденсаторов является важнейшим условием повышения их качества, долговечности, сокращения непроизводительных расходов и потерь, связанных с браком.

§ 62. Испытания конденсаторов на герметичность

Попадание влаги и воздуха внутрь конденсаторов из окружающей среды, как известно, приводит к возрастанию проводимости диэлектрика, увеличению тангенса угла диэлектрических потерь, снижению электрической прочности и, следовательно, к преждевременному выходу конденсаторов из строя. Кроме того, в конденсаторах постоянного тока влага способствует развитию в диэлектрике электрохимических явлений и его ускоренному старению.

Влага и воздух попадают внутрь конденсаторов, если в них имеются негерметичные места. Поэтому при выпуске конденсаторы должны быть подвергнуты тщательным испытаниям на герметичность, которые проводятся

в термокамерах. После окончательной герметизации и тщательного обезжиривания сварные и паяные швы конденсаторов обмазывают водным раствором мела и помещают в термокамеру. Конденсаторы в изоляционных корпусах с резиновым уплотнением испытывают, не обмазывая мелом. В термокамере конденсаторы разогревают и в нагретом состоянии выдерживают в течение нескольких часов.

Конденсаторы, пропитанные конденсаторным и касторовым маслами, нагревают до 65—70°, а пропитанные хлорированными дифенилами — до 85—90° С, что соответствует максимально допустимым рабочим температурам внутри их диэлектрика. В технологических инструкциях указывается время разогрева конденсаторов которое в зависимости от габаритов составляет 8—16 ч.

Места течи конденсаторов обнаруживают по появлению жирных пятен и полос на обмазанной мелом поверхности (от смачивания пропитывающей жидкостью) или следов течи в местах уплотнений. В процессе разогрева необходимо периодически осматривать конденсаторы и при обнаружении течи извлекать из камеры во избежание вытекания пропитывающей жидкости. Негерметичные конденсаторы направляют на исправление и после устранения течи снова испытывают.

§ 63. Измерение емкости

Емкости выпускаемых силовых конденсаторов колеблются в широких пределах: от 500 пФ до 1000 мкФ. В зависимости от типа и назначения конденсаторов отклонения их емкости от номинальных значений допускаются от ±2% (конденсаторы группы связи) до ±20% (конденсаторы ЭСВ и ФМТ, отдельные типы конденсаторов ИК). ГОСТами и ТУ на конденсаторы установлены методы измерения емкости, обеспечивающие определенную точность измерений. Относительная погрешность измерений для конденсаторов с допуском по емкости ±2% обычно составляет не более 0,5%, для конденсаторов с большими допусками не должна превышать 2—3%.

Отечественная промышленность для измерения емкости силовых конденсаторов выпускает стрелочные приборы различных систем с непосредственным отсчетом (микрофарадометры), мосты низкого напряжения, а также мосты высокого напряжения, позволяющие одновременно с емкостью измерять тангенс угла потерь конденсаторов. Наибольшее распространение получили мосты высокого напряжения Р-5026 и Р-507.

Измерение емкости является первой операцией при электрических испытаниях конденсаторов. Цель измерения — выявить соответствие емкости конденсатора техническим требованиям ГОСТа или ТУ. Конденсаторы, соответствующие техническим требованиям по емкости, подвергаются дальнейшим электрическим испытаниям. Конденсаторы с емкостью, выходящей за пределы допусков (с завышенной или заниженной емкостью), отсутствием ее (обрывом цепи) или коротким замыканием обкладок, бракуют, снабжают биркой с указанием вида дефекта и передают для выяснения причин брака и исправления. Результаты измерения емкости каждого конденсатора регистрируют в журнале приемо-сдаточных испытаний.

При измерениях емкости конденсаторов необходимо учитывать следующее:

конденсаторы, выводами которых служат крышки (в фарфоровых и бакелитовых корпусах) или один из выводов которых соединен с корпусом, должны быть изолированы от земли; их устанавливают на изоляционные подставки, что позволяет избежать погрешности в измерениях, а в отдельных случаях и предотвратить выход из строя измерительной аппаратуры;

измерительные провода могут иметь значительную емкость и вносить, особенно при измерениях малых емкостей, большую погрешность; поэтому длина измерительных проводов должна быть минимальной, а в необходимых случаях емкость проводов следует учитывать в результатах измерения (вычитать из показаний прибора).

Емкость однофазных конденсаторов определяют непосредственным отсчетом по измерительному прибору. В конденсаторах, имеющих несколько параллельных групп (ЭСВ, ЭСВП, ФМТ и др.), емкость измеряют по группам между общим выводом и выводами каждой из групп. Общая емкость конденсатора подсчитывается путем суммирования емкостей отдельных групп.

Наибольшую сложность представляют измерения емкости трехфазных конденсаторов, секции которых соединены в треугольник или в звезду (рис. 86). Для определения емкости поочередно производят три измерения

между линейными выводами. Полная емкость конденсатора:

для соединения в треугольник

$$C=2/3(C_{12}+C_{23}+C_{31}),$$

для соединения в звезду $C=2\ (C_{12}+C_{23}+C_{31})$.

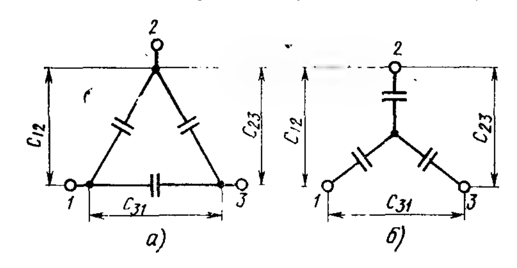


Рис. 86. Схема соединения секций трехфазных конденсаторов:

а — в треугольник, *б* — в звезду; *1—3* — выводы; C_{12}, C_{23}, C_{31} — емкости, измеренные между линейными выводами

§ 64. Испытания конденсаторов повышенным напряжением

Испытания конденсаторов повышенным напряжением (см. § 9) производят, прикладывая к ним испытательное напряжение. Цель этих испытаний — проверить достаточность запаса электрической прочности и обнаружить скрытые дефекты, которые могли возникнуть в процессе изготовления конденсаторов, а также из-за дефектов в применяемых материалах.

Испытание конденсаторов напряжением выполняют непосредственно после измерения емкости. Испытанию подвергаются как диэлектрик между обкладками, так и изоляция относительно корпуса. В первом случае напряжение прикладывают между выводами конденсатора, во втором — выводы конденсатора замыкают накоротко, а напряжение прикладывают между закороченными выводами и корпусом.

Конденсаторы в изоляционных корпусах испытывают напряжением между обкладками. Конденсаторы в металлических корпусах, у которых один из выводов соединен с корпусом, испытывают между изолированными выводами и выводом, соединенным с корпусом. При этих испытаниях одновременно проверяют диэлектрик между обкладками и изоляцию от корпуса.

В зависимости от типа и назначения конденсаторы испытывают напряжением переменного или постоянного тока. Отдельные типы конденсаторов допускается испытывать напряжением как переменного, так и постоянного тока.

Величина испытательного напряжения и длительность испытаний указываются в ГОСТе или ТУ на каждый тип конденсатора.

Испытание кратковременным воздействием напряжения хотя и позволяет отбраковать дефектные конденсаторы, но не гарантирует надежность в эксплуатации всех конденсаторов, выдержавших данные испытания. Повышение испытательного напряжения не только не увеличивает, а наоборот, снижает надежность испытанных конденсаторов. Поэтому особо ответственные конденсаторы переменного тока помимо кратковременных приемо-сдаточных испытаний испытываются в течение 48 ч при более низком напряжении, которое обычно принимается равным 120% номинального.

Приемо-сдаточные испытания конденсаторов повышенным напряжением, как правило, проводят при нормальных условиях (температура, влажность, давление) окружающей среды. Поверхности изолирующих деталей, находящихся в воздухе (изоляторов, изоляционных корпусов и т. д.), перед испытанием должны быть тщательно протерты.

Основная задача испытателя состоит в том, чтобы правильно определить пробой или другие повреждения в конденсаторе и отбраковать дефектные конденсаторы. О наступлении пробоя можно судить по показаниям измерительных приборов, по внутренним и внешним электрическим разрядам, механическим повреждениям корпуса и изоляторов, а также по изменению емкости конденсатора после испытаний напряжением.

По показаниям измерительных приборов испытательной установки легко обнаруживают пробои на корпус у всех типов конденсаторов и пробои между обкладками у конденсаторов с параллельным соединением секций в выемной части. В этих случаях при пробое возникает полное короткое замыкание, в результате которого стрелка вольтметра, предназначенного для контроля испытательного напряжения, падает до нуля, а показания амперметра резко возрастают из-за протекания в цепи конденсатора тока короткого замыкания. Кроме

того, пробой сопровождается резким звуковым эффектом, а иногда и механическим повреждением конденсатора.

Пробои между обкладками у конденсаторов с последовательным соединением секций или групп секций в выемной части также можно обнаруживать по показаниям приборов или по звуку разрядов. Однако при пробое секций в отдельных группах полного короткого замыкания не происходит и отклонения показаний приборов менее значительны. Чем больше последовательно соединенных групп в конденсаторе, тем меньше отклонения показаний приборов. Когда таких групп более 50, отклонения показаний приборов могут быть не замечены. Поэтому для проверки секций на пробой после испытания напряжением измеряют емкость конденсаторов. Если емкость изменилась, значит произошел пробой.

Как известно, емкость конденсатора, собранного из последовательно соединенных групп секций (или секций), $C=C_0/n$, где C_0 — емкость последовательной группы; n — число последовательно соединенных групп в конденсаторе.

При пробое хотя бы одной секции в группе емкость этой группы шунтируется каналом пробоя (замыкается накоротко мостиком, состоящим из сажи и распыленных частичек фольги, или непосредственным соединением двух обкладок). Число последовательно соединенных групп уменьшается, вследствие чего общая емкость конденсатора увеличивается. Таким образом, пробой секций в последовательно соединенных группах вызывает возрастание емкости конденсатора.

По возрастанию емкости можно судить о числе групп, в которых произошел пробой секций. Число групп K с пробитыми секциями может быть определено по формуле

$$K=n(C_2-C_1)/C_2,$$

где C_1 и C_2 — емкость конденсатора до и после испытаний.

Пример. Емкость конденсатора КС6,3, состоящего из шести последовательно соединенных групп секций, до испытаний составляла 2 мкФ, а после испытаний — 3 мкФ. Отсюда

$$K=\frac{6(3-2)}{3}=2,$$

т. е. при испытаниях в конденсаторе произошел пробой секций в двух группах.

При приемо-сдаточных испытаниях конденсаторов напряжением между обкладками, особенно при испытании разрядами накоротко, кроме пробоев секций могут происходить отпайки токоподводов и другие обрывы в схеме соединения. В конденсаторах с параллельным соединением секций, имеющих плавкие предохранители, пробой секций сопровождается перегоранием предохранителей.

Распайки, обрывы и перегорания секционных предохранителей обычно вызывают уменьшение емкости конденсаторов и не всегда могут быть обнаружены в процессе испытания напряжением. Вот почему эти дефекты, как и пробой секций, лучше всего выявлять также путем измерения емкости после испытаний напряжением.

Конденсаторы считаются выдержавшими испытания повышенным напряжением, если в процессе испытаний не наблюдалось пробоя или частичных нарушений изоляции, отмеченных по звуку разрядов и по показаниям приборов, не произошло механических повреждений конденсаторов, а также если емкость после испытаний осталась такой же, как и до испытаний.

Исключением являются конденсаторы с параллельным соединением секций, имеющие предохранители. Для этих конденсаторов допускается уменьшение емкости из-за перегорания предохранителей. Однако ее величина должна оставаться в пределах допусков по емкости.

Когда конденсаторы подвергаются длительным испытаниям напряжением, их качество дополнительно оценивают по нагреву и изменению тангенса угла потерь. Конденсаторы считаются выдержавшими испытания, если их перегрев не превысил допустимых пределов и не увеличился тангенс угла потерь.

Испытания конденсаторов повышенным напряжением производят с помощью испытательных установок высокого напряжения. Испытательные установки переменного и постоянного тока выполняют в виде самостоятельных кабин, которые снабжают необходимым для испытаний оборудованием, измерительной аппаратурой, защитными и сигнальными приспособлениями. Управляют установками с пультов, располагаемых вне кабин.

§ 65. Испытательные установки переменного тока промышленной частоты

При испытаниях различных типов конденсаторов переменным током применяют испытательные напряжения от нескольких сот вольт до нескольких сот киловольт. Для получения напряжения в указанных пределах используют ряд испытательных установок, каждая из которых рассчитана на определенное максимальное напряжение (до 10, 40, 100, 200 кВ и т. д.) Однако, отличаясь по максимальному испытательному напряжению, установки одинаковы по устройству и принципиальной схеме.

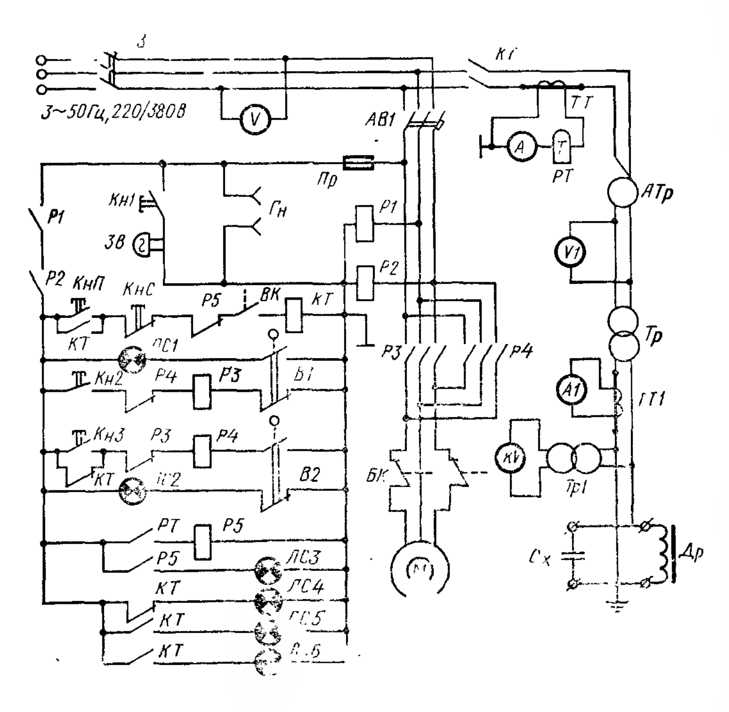


Рис. 87. Схема испытательной установки однофазного переменного тока

В каждую испытательную установку входят: испытательный трансформатор, устройство для регулирования напряжения, дроссели для компенсации емкостного тока, приборы, измеряющие напряжение и ток, защитные и сигнальные приспособления, а также основные и дополнительные защитные средства (штанги, разрядники, изолирующие подставки, резиновые коврики, диэлектрические боты и перчатки).

На рис. 87 показана схема испытательной установки однофазного переменного тока. Напряжение от сети через автоматический выключатель *АВ* и контактор *КТ* подается на автотрансформатор *АТр*. Вторичное напряжение с автотрансформатора подводится к испытательному трансформатору *Тр*, к выводам высокого напряжения которого подключают испытуемые конденсаторы C_x. При испытании между обкладками параллельно конденсаторам подключают дроссели *Др*. Один из выводов высокого напряжения испытательного трансформатора, как правило, заземляют.

Для контроля напряжения и тока в первичной и вторичной цепях испытательного трансформатора устанавливают измерительные приборы. Вольтметр и амперметр на стороне высокого напряжения подключают соответственно через трансформатор напряжения *Тр1* и трансформатор тока *ТТ1*. Напряжение сети контролируют вольтметром *V*, а ток нагрузки в первичной цепи автотрансформатора амперметром *А*, включенным через трансформатор тока *ТТ*. Через этот же трансформатор включают также последовательно амперметру максимальное токовое реле *РТ*, отключающее установку при перегрузках и коротком замыкании.

Управление установкой осуществляется с пульта кабины дистанционным включением и отключением контактора *КТ* и магнитных пускателей *Р3* и *Р4* приводного механизма автотрансформатора. Контактор *КТ* включают и выключают нажатием кнопок *КнП* (Пуск) и *КнС* (Стоп). Магнитные пускатели приводного механизма включают и отключают нажатием кнопок *Кн2* (Больше) и *Кн3* (Меньше).

Двери кабины испытательных установок снабжают электромеханической блокировкой с концевыми выключателями *ВК*, которая при открывании двери полностью отключает напряжение, питающее установку.

Сигнализация осуществляется сигнальными лампами *ЛС1—ЛС6*, установленными на пульте и над дверью кабины. Защитные и сигнальные приспособления служат для обеспечения безопасности работающих на установке высокого напряжения.

Включение и отключение установки производят в такой последовательности:

1. Включает автоматический выключатель *АВ*, при этом вольтметр *V* покажет напряжение сети.

2. Закрывают дверь кабины, благодаря чему замыкаются блокировочные контакты конечных выключателей *ВК* в цепи катушки контактора *КТ*.

3. Включают автоматический выключатель *АВ1*, при этом подается напряжение на гнезда *Гн* для подключения вспомогательных электроприборов и на катушки реле *Р1* и *Р2*. Реле срабатывают и загорается сигнальная лампа *ЛС4*, указывающая, что в цепи управления подано напряжение. Также загорается сигнальная лампа *ЛС2*, свидетельствующая, что подвижные катушки автотрансформатора находятся в исходном положении.

4. Нажатием кнопки *Кн1* подают звуковой сигнал, предупреждающий о том, что на установку будет подано высокое напряжение.

5. Нажатием кнопки *КнП* (Пуск) замыкают цепь питания катушки контактора *КТ*. От прохождения тока в катушке срабатывает контактор *КТ* и происходит замыкание главных и замыкающих его контактов и размыкание размыкающих контактов. При замыкании главных контактов напряжение сети подается на автотрансформатор, замыкании замыкающих контактов шунтируется кнопка *КнП*, при отпускании которой не разрывается цепь катушки контактора, и загораются сигнальные лампы *ЛС5* на пульте и *ЛС6*, табло «Стой! Высокое напряжение» над дверьми кабины, свидетельствующие, что установка находится под высоким напряжением. Из-за размыкания размыкающего контакта сигнальная лампа *ЛС4* гаснет.

6. Нажатием кнопки *Кн2* замыкают цепь питания катушки пускателя *Р3* электродвигателя *М*. От прохождения тока в цепи катушки пускатель срабатывает и происходят замыкание его главных контактов и размыкание размыкающего контакта *Р3* в цепи катушки пускателя *Р4*, предотвращающая одновременное его включение.

При замыкании главных контактов включается электродвигатель *М*, в результате чего короткозамкнутые катушки автотрансформатора движутся вниз и напряжение на испытательном трансформаторе повышается до тех пор, пока кнопка нажата. При отпускании этой кнопки разрывается цепь питания катушки пускателя *Р3*, который отключает электродвигатель, и напряжение на испытательном трансформаторе поддерживается на заданном уровне. Если подвижные катушки при нажатой кнопке достигнут крайнего нижнего положения, цепь катушки пускателя *Р4* разрывается предельным (концевым) выключателем *В1*, что приводит к автоматической остановке электродвигателя. Одновременно предельным выключателем замыкается цепь сигнальной лампы *ЛС1*. Сигнальная лампа загорается свидетельствуя, что подвижные катушки автотрансформатора находятся в крайнем нижнем положении и напряжение на испытательном трансформаторе максимальное.

7. Нажатием кнопки *Кн3* замыкают цепь питания катушки пускателя *Р4* электродвигателя. Пускатель срабатывает и происходит замыкание его главных контактов и размыкание размыкающего контакта *Р4* цепи катушки пускателя *Р3*, предотвращая одновременное его включение.

При замыкании главных контактов две фазы в цепи питания электродвигателя меняются местами. Благодаря этому электродвигатель вращается в противоположную сторону, катушки автотрансформатора движутся вверх и напряжение на испытательном трансформаторе снижается до тех пор, пока кнопка *Кн3* нажата. При отпускании этой кнопки или достижении подвижными катушками крайнего верхнего положения разрывается цепь питания катушки пускателя *Р4* и электродвигатель отключается. Электродвигатель в крайнем верхнем положении отключается концевым выключателем *В2*. Последним одновременно замыкается цепь сигнальной лампы. Сигнальная лампа *ЛС2* загорается, свидетельствуя, что подвижные катушки автотрансформатора находятся в крайнем верхнем положении и напряжение на испытательном трансформаторе минимальное.

8. Для отключения установки нажимают на кнопку *КнС* (Стоп), которая разрывает цепь питания катушки контактора *КТ*, приводя схему к исходному положению. Автотрансформатор отключается от сети, гаснут лампы *ЛС5* и *ЛС6* и загорается *ЛС4*. Установка отключается также при размыкании дверных блокировочных контактов *ВК* в момент открывания дверей кабины.

Перед отключением напряжение испытательного трансформатора должно быть снято полностью. Когда установку отключают при напряжении на испытатель-

ном трансформаторе, оно автоматически падает до нуля из-за отключения сети контактором *КТ*. В то же время размыкающий контакт контактора *КТ*, шунтируя кнопку *Кн3*, замыкает цепь питания пускателя *Р4*, благодаря чему короткозамкнутые катушки автотрансформатора возвращаются в исходное (крайнее верхнее) положение, соответствующее наименьшему вторичному напряжению.

Отключать цепи управления автоматическим выключателем *АВ1* от сети следует только после полного снятия напряжения с испытательного трансформатора и возвращения короткозамкнутых катушек автотрансформатора в верхнее исходное положение. После этого выключают автоматический выключатель *АВ*.

Кроме дистанционного управления в приводном механизме автотрансформатора предусмотрено ручное управление рукояткой, которая позволяет перемещать короткозамкнутые катушки вниз и вверх. При ручном управлении блокировочные контакты *БК* предотвращают одновременное включение электродвигателя с помощью дистанционного управления.

В схеме установки предусмотрена токовая и фазовая защиты. При перегрузках по току и коротком замыкании в установке срабатывает токовое реле *РТ* и своим замыкающим контактом замыкает цепь катушки реле *Р5*. От прохождения тока в цепи катушки реле *Р5* срабатывает и размыкающим контактом разрывает цепь катушки контактора *КТ*, который отключает напряжение сети от автотрансформатора. Одновременно замыкающим контактом *Р5* замыкается цепь сигнальной лампы *ЛС3*. Лампа загорается, сигнализируя об аварийном отключении установки.

При исчезновении любой из фаз на цепи управления не может быть подано напряжение, так как в этом случае не срабатывают реле *Р1* и *Р2*.

Перед началом испытаний необходимо проверить наличие и исправность защитных средств, затем убедиться в полной исправности установки. Прежде чем войти в кабину, установку надо полностью отключить от сети. После внешнего осмотра и удаления всех посторонних предметов проверяют надежность заземления оборудования, а также осуществляют необходимые переключения обмоток трансформатора и дросселей с учетом испытательного напряжения и емкости испытуемых конденсаторов.

Исправность установки проверяют ее включением и отключением, при этом убеждаются в плавности регулирования напряжения и надежности работы дверных блокировочных контактов. Если автоматические выключатели *АВ* и *АВ1* включены и двери кабины закрыты, на пульте управления должна загореться сигнальная лампа *ЛС4*. При нажатии кнопки *КнП* (Пуск) должны загореться сигнальные лампы *ЛС5* и *ЛС6* и погаснуть *ЛС4*, а при нажатии кнопки *КнС* (Стоп) или открывании двери кабины — погаснуть *ЛС5* и *ЛС6* и загореться *ЛС4*. Отключать кабину нужно как нажатием кнопки, так и открыванием ее дверей.

Плавность регулировки напряжения проверяют, нажимая кнопки *Кн2* (Больше) и *Кн3* (Меньше) и наблюдая за показаниями вольтметров как в первичной, так и во вторичной цепях испытательного трансформатора. Напряжение повышают до испытательного и снимают до нуля.

Кроме того, проверяют надежность отключения установки под напряжением. Напряжение на испытательном трансформаторе повышают до испытательного и отключают установку как кнопкой *КнС* (Стоп), так и открыванием двери кабины, в результате чего напряжение по вольтметрам должно резко падать до нуля. Перед повторным включением установки по загоранию сигнальной лампы *ЛС2* убеждаются, что катушки автотрансформатора приняли верхнее исходное положение.

Для испытаний конденсаторы устанавливают в кабине и надежно подключают к шинам испытательного трансформатора. При испытании между обкладками в случае необходимости параллельно конденсаторам подключают дроссели. Если конденсаторы испытывают на корпус или если один из выводов конденсаторов соединен с корпусом, корпус должен быть подключен к заземленному выводу испытательного трансформатора. Во время испытаний испытатель у пульта управления установки должен находиться на изоляционной подставке с резиновым ковриком.

В начале испытаний напряжение на конденсаторах плавно повышают до испытательного и конденсаторы выдерживают под напряжением в течение времени, обусловленного требованиями ТУ или ГОСТа. Затем его плавно снижают до нуля и отключают установку. Во время повышения напряжения и выдержки конденсаторов под

напряжением испытатель должен внимательно следить за показаниями приборов и возможным появлением разрядов, чтобы выявить дефектные конденсаторы.

Когда пробой конденсатора вызывает резкое возрастание тока, во избежание длительной перегрузки оборудования и возможного механического повреждения (вспучивания) конденсатора установка должна быть немедленно выключена нажатием кнопки «Стоп».

Конденсаторы после испытаний могут иметь опасное напряжение, поэтому перед отключением от шин испытательного трансформатора их необходимо разрядить специальными разрядниками. Разряд конденсаторов производят как между выводами, так и между выводами и корпусом. Трехфазные конденсаторы разряжают между обкладками одновременным закорачиванием всех видов. При разряде конденсаторов испытатель должен надеть диэлектрические боты и перчатки.

Если в процессе испытаний произойдет отключение испытуемого конденсатора от шин испытательного трансформатора, то после отключения установки должны быть приняты специальные меры для его разряда, так как конденсатор может быть заряжен до амплитудного значения испытательного напряжения. Непосредственно перед измерением емкости после испытания напряжением конденсаторы разряжают повторно.

Подключение дросселей при испытании конденсаторов между обкладками позволяет не только разгрузить испытательное оборудование и линии электропитания, но и испытывать конденсаторы с испытательной мощностью, значительно превышающей мощность испытательного трансформатора.

Схему соединения дросселей определяют на основании предварительных расчетов условий резонанса токов, при котором емкостный ток конденсаторов должен быть равен индуктивному току дросселей. Исходными данными для расчетов являются испытательное напряжение и ток конденсаторов, а также номинальные значения напряжения и тока дросселей.

При неточном подборе резонанса разность емкостного и индуктивного токов не должна превышать номинальный ток испытательного трансформатора и автотрансформатора.

При испытании трехфазных конденсаторов схему соединения дросселей определяют аналогично. Поскольку

у таких конденсаторов секции соединены в треугольник, дроссели также соединяют в треугольник. Задача расчета сводится к определению равенства фазных токов конденсаторов и дросселей.

§ 66. Испытательные установки постоянного тока

Испытание конденсаторов повышенным напряжением постоянного тока производят обычно с помощью установок переменного тока (см. § 65), снабжаемых дополнительно выпрямительными устройствами.

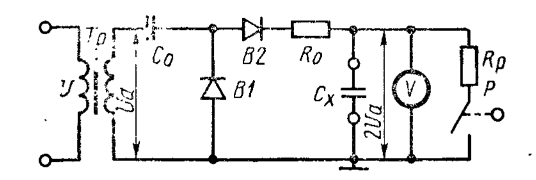


Рис. 88. Схема удвоения, применяемая в установках постоянного тока

Основной частью выпрямителя является вентиль, обладающий способностью пропускать ток только одного направления. В выпрямительных устройствах в качестве вентилей применяют полупроводниковые (купроксные, селеновые, кремниевые) элементы. В зависимости от требуемых напряжения и тока полупроводниковые вентили собирают из большого числа отдельных элементов, соединяемых параллельно-последовательно.

Применяют схемы одно- и двухполупериодного выпрямления, а также схемы удвоения, позволяющие получать выпрямленное напряжение, которое в два с лишним раза выше напряжения, получаемого от испытательного трансформатора. Из схем удвоения для испытания конденсаторов преимущественно используется схема с заземленным полюсом (рис. 88). В первую половину периода переменного тока через вентиль *В1* конденсатор C_0 заряжается до амплитудного значения напряжения $U_а$ на вторичной обмотке трансформатора *Тр*. Во вторую половину периода испытуемый конденсатор C_x, включенный через вентиль *В2* и защитное сопротивление R_0, оказывается под суммарным напряжением заряженного

конденсатора C_0 и трансформатора. Конденсатор C_x заряжается до максимального напряжения, равного $2U_а$. Вентиль *В2* препятствует разряду испытуемого конденсатора C_x, когда не происходит его подзаряд.

Сопротивление R_0 предназначено для защиты вентилей в случае короткого замыкания в цепи испытуемого конденсатора и представляет собой резиновую трубку, заполненную дистиллированной водой. Сопротивление выбирается с таким расчетом, чтобы при коротком замыкании ток вентилей не превышал максимально допустимого.

Для разряда конденсаторов C_0 и C_x после испытания в схеме предусмотрен автоматический разрядник *Р*, представляющий собой металлическую шину, укрепленную на изоляционной штанге, которая механически связана с контактором. При срабатывании контактора штанга, поворачиваясь, металлической шиной размыкает или замыкает разрядные цепи конденсаторов. Катушка контактора, приводящего в движение штангу, включена в цепи управления установкой.

Обычно, когда установка не находится под высоким напряжением, конденсаторы замкнуты шинами разрядника на разрядное сопротивление $R_р$. Разряжая конденсаторы после испытания, автоматический разрядник предохраняет обслуживающий персонал от попадания под высокое напряжение.

Напряжение при испытаниях измеряют по вольтметру как на стороне низкого, так и на стороне высокого напряжения. При измерениях на стороне низкого напряжения предварительно градуируют вольтметр по шаровым разрядникам. Измерение непосредственно на стороне высокого напряжения производят вольтметрами высокого напряжения. Применяют выпускаемые промышленностью электростатические вольтметры С-96 и С-100 с погрешностью измерения не более 1,5%. Приборы потребляют ничтожно малое количество энергии.

Вольтметр С-96 (рис. 89, *а*) имеет два электрода — подвижный и неподвижный. Подвижный электрод соединен с экраном, в качестве которого используется корпус прибора. Когда к электродам прикладывают напряжение, подвижный электрод поворачивается на угол, пропорциональный измеряемому напряжению. На подвижном электроде укреплено зеркальце, которое, поворачиваясь вместе с электродом, отбрасывает световой луч на шкалу прибора.

Прибор имеет три предела измерения: 7,5; 15 и 30 кВ. Для измерения на различных пределах регулируют расстояние между электродами, перемещая неподвижный электрод. Кроме того, устанавливают шкалу, соответствующую данному пределу. Входная емкость прибора 12 пФ. Сопротивление изоляции 10^7 Ом.

Вольтметр С-100 открытой конструкции (рис. 89, *б*) имеет также три предела измерения: 25, 50 и 75 кВ. Подвижный электрод с экраном и основание прибора при работе заземляют. Соответственно пределам измерения прибор имеет три шкалы со световым указателем. Шкалы нанесены на трехгранной призме, которая поворачивается вокруг своей оси. Отсчетное устройство находится внутри экрана подвижного электрода. Оптическая система смонтирована в экране подвижного электрода и основании прибора. В основании прибора находятся также осветительная лампа и трансформатор цепи освещения. Собственная входная емкость прибора не превышает 18 пФ. Сопротивление изоляции измерительной цепи 10^{10} Ом. Ток утечки при напряжении 75 кВ равен 8 мкА.

а) б)

Рис. 89. Вольтметры:
а — С-96, *б* — С-100

Цепи освещения вольтметров С-96 и С-100 питаются от сети переменного тока напряжением 127/220 В или от источника постоянного или переменного тока напряжением 6 В.

Вольтметр С-100 предназначен для измерения напряжения в высоковольтных цепях переменного (в широком диапазоне частот) и постоянного токов с одним заземленным полюсом.

Вольтметр С-96 может быть применен как в цепях с одним заземленным полюсом, так и в цепях с изолированными полюсами. В последнем случае прибор должен быть изолирован от земли на полное напряжение, а цепь освещения должна питаться от источника постоянного тока (батареи), также изолированного на полное напряжение.

При подаче на вольтметры напряжения выше допустимого возможны пробой промежутка между электродами и повреждение измерительного механизма. Для защиты от повреждений при измерениях напряжения постоянного и переменного тока промышленной частоты рекомендуется включать приборы через водяное защитное сопротивление.

Если напряжение измеряют в цепях с одним заземленным полюсом, экран прибора, соединенный с подвижным электродом, следует подключать непосредственно к контуру заземления. Подключение прибора к заземленной шине, являющейся частью схемы, особенно если эта часть схемы служит разрядным контуром при испытании конденсаторов, приводит к тому, что экран может оказаться под высоким потенциалом относительно земли. Это вызывает повреждение изоляции осветительной цепи и чаще всего пробой осветительного трансформатора прибора. Для непосредственного измерения напряжения свыше 75 кВ применяют *делители напряжения*.

Делитель напряжения (рис. 90) представляет собой цепочку последовательно соединенных резисторов с общим сопротивлением r_1. На один конец этой цепочки подается высокое напряжение U_1, а другой ее конец заземляется.

Напряжение U_2, приходящееся на часть элементов цепочки с сопротивлением r_2 и составляющее небольшую часть высокого напряжения, подводимого к делителю, измеряется вольтметром низкого напряжения.

Отношение напряжения U_1 к U_2, равное отношению сопротивления r_1 к r_2, называется *коэффициентом деления делителя*:

$$K = U_1/U_2 = r_1/r_2,$$

отсюда измеряется высокое напряжение

$$U_1 = r_1 U_2 / r_2 = K U_2.$$

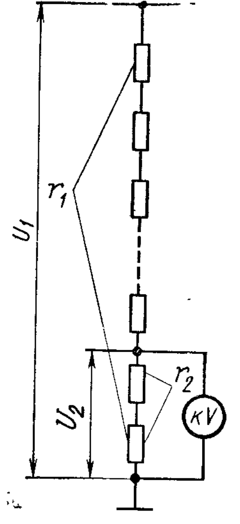


Рис. 90. Схема делителя напряжения

Для получения требуемой точности измерения необходимо брать вольтметр с сопротивлением намного большим сопротивления r_2.

Делители напряжения являются неотъемлемыми элементами в схемах осциллографирования и выполняются трех видов: активные (омические), емкостные и комбинированные (емкостно-активные).

При испытании конденсаторов на установках постоянного тока надо соблюдать те же правила, что и при испытании на установках переменного тока. Кроме того, особое внимание следует обращать на работу автоматического разрядника и исправность разрядного и зарядного сопротивлений.

Независимо от разряда автоматическим разрядником конденсаторы после испытаний необходимо индивидуально разряжать вручную при помощи заземленного металлического стержня, укрепленного на изоляционной штанге, а их выводы замыкать накоротко во избежание появления остаточного заряда. Конденсаторы, находящиеся на испытательном поле установки, всегда могут быть заряжены до напряжения опасной величины, если они даже не находились под высоким напряжением. Поэтому все не подвергающиеся испытаниям конденсаторы, расположенные на испытательном поле, должны быть закорочены.

Импульсные испытания производят созданием между выводами конденсатора разрядного промежутка, который устанавливают в соответствии с испытательным напряжением. Частота заряд — разрядов (циклов) регулируется как напряжением, подаваемым на конденсаторы,

так и ограничивающим сопротивлением в зарядной цепи. Разрядный ток определяется сопротивлением разрядной цепи. При разряде конденсатора на очень малое сопротивление (накоротко) ток в импульсе может достигать очень больших значений (десятков и сотен тысяч ампер), поэтому во избежание повреждения выводов при подключении конденсаторов к разрядной цепи необходимо создавать надежный контакт.

§ 67. Установки переменного тока повышенной частоты

Установки переменного тока повышенной частоты предназначены главным образом для проведения длительных испытаний конденсаторов ЭСВ. Кратковременные испытания этих конденсаторов на электрическую прочность проводят напряжением постоянного тока. В каждую испытательную установку входят: преобразователь, повышающий трансформатор, дроссель, приборы для измерения напряжения и тока, а также защитные и сигнальные приспособления.

Преобразователь предназначен для преобразования трехфазного тока промышленной частоты 50 Гц в однофазный ток повышенной частоты и состоит из генератора однофазного тока повышенной частоты и трехфазного асинхронного двигателя. Преобразователи изготовляют на разные частоты и различной мощности. Для испытания конденсаторов при частотах 2400 и 10 000 Гц преимущественно применяют однокорпусные двухмашинные преобразователи мощностью 100 кВт с воздушным и водяным охлаждением. Генераторы преобразователей рассчитаны на два напряжения: 400 и 800 В. Чтобы включить генератор на то или другое напряжение, переключают его рабочие обмотки на доске зажимов. Напряжение генератора регулируется от нуля до номинального изменением тока в обмотке возбуждения. Возбуждение генераторов — независимое, от постороннего источника постоянного тока.

При работе преобразователи создают шумы, поэтому их устанавливают вне кабины испытательных установок в специально оборудованном помещении — машинном зале. Всю пусковую и относящуюся к двигателям измерительную аппаратуру монтируют в шкафах и также располагают в машинном зале. Измерительные приборы

повышенной частоты и приборы регулирования, касающиеся цепи возбуждения генератора, а также аппаратуру управления генератором сосредоточивают непосредственно на пульте управления кабины.

В качестве повышающих трансформаторов используют специальные, рассчитанные на соответствующую частоту, секционированные трансформаторы, позволяющие ступенями изменять вторичное напряжение.

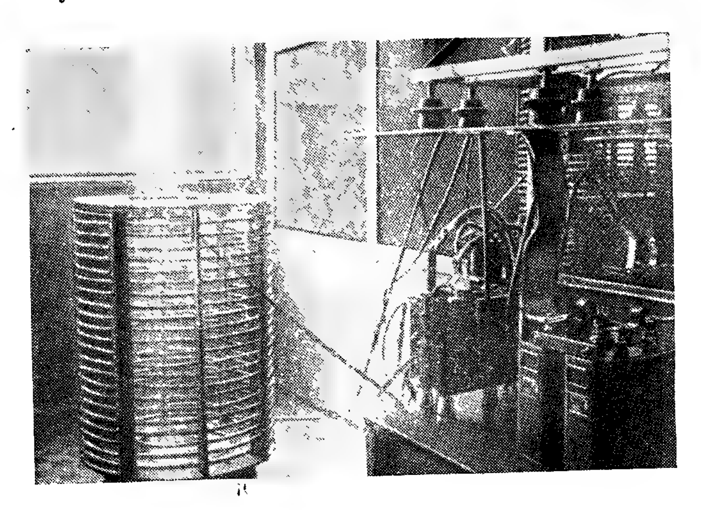


Рис. 91. Дроссель, применяемый в установках переменного тока повышенной частоты

Для компенсации емкостного тока испытуемых конденсаторов применяют дроссели в виде катушек из медной полой трубки диаметром 16—20 мм (рис. 91). Витки катушки намотаны на изоляционный каркас. Дроссели рассчитаны на работу при водяном охлаждении, которое осуществляется пропусканием проточной воды по полым трубкам. Вода подводится к нижнему витку дросселя и выходит из верхнего витка.

Схема установки переменного тока повышенной частоты показана на рис. 92. Запуск установки в работу производят в такой последовательности.

1. Включают автоматический выключатель *АВ* и выключатель *ВК*. Автоматический выключатель служит для подачи напряжения на установку и защищает ее от

короткого замыкания и перегрузок. Включением выключателя *ВК* подается напряжение на цепи управления, при этом на пульте управления загорается сигнальная лампа *ЛС*, указывающая, что напряжение подано.

2. Нажатием кнопки *КнП* (Пуск) запускают двигатель *М* преобразователя. При срабатывании контактора

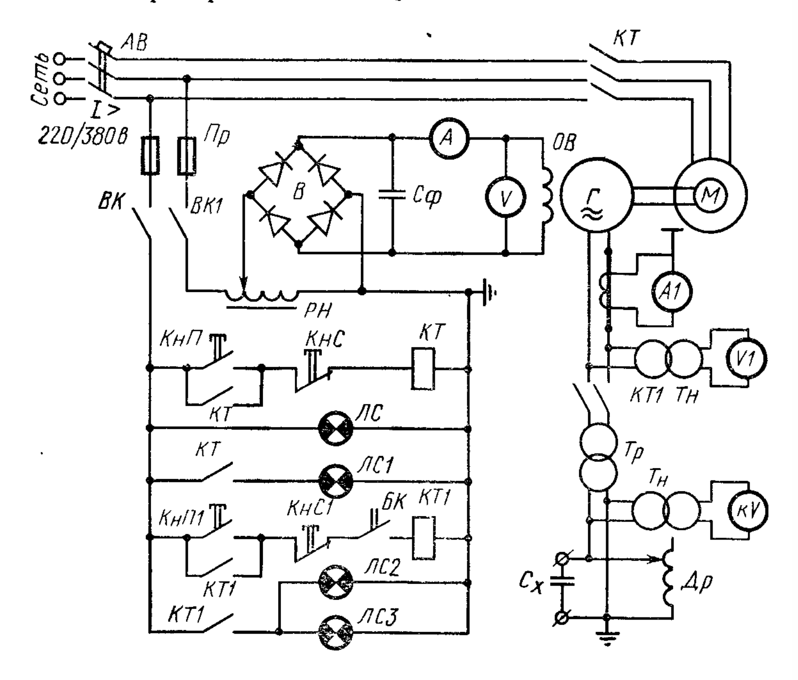


Рис. 92. Схема установки переменного тока повышенной частоты

наряду с главными контактами замыкаются замыкающие контакты. В результате этого шунтируется кнопка «Пуск», при отпускании которой цепь катушки контактора не разрывается и загорается сигнальная лампа *ЛС1*, свидетельствующая, что на двигатель подано напряжение. Ввиду тяжелых условий пуска, связанных с появлением больших пусковых токов, отрицательно действующих не только на двигатель, но и на питающую сеть, двигатель включают обычно с помощью трансформаторного пускателя (на схеме не показан), значительно снижающего напряжение на двигателе в момент пуска. Включение производят при невозбужденном генераторе и без нагрузки. Перед пуском преобразователей с водяным охлаждением предварительно должна быть подана охлаждающая вода.

3. Закрывают дверь кабины, благодаря чему замыкаются блокировочные контакты *БК*.

4. Нажатием кнопки *КнП1* (Пуск) включают генератор *Г* под нагрузку контактором *КТ1* в первичной цепи повышающего трансформатора *Тр*. При срабатывании контактора одновременно замыкающими его контактами шунтируется кнопка «Пуск» и замыкается цепь сигнальных ламп *ЛС3* на пульте управления и *ЛС2* над дверью кабины, свидетельствующих, что на установку подано высокое напряжение.

5. Включением выключателя *ВК1* подают напряжение на обмотку возбуждения *ОВ* генератора.

Напряжение генератора от нуля до номинального регулируют вручную с помощью рукоятки автотрансформатора *РН*, установленного на пульте управления. Напряжение после автотрансформатора выпрямляется собранным по мостовой схеме выпрямителем *В*. Пульсация выпрямленного напряжения сглаживается фильтровым конденсатором *Сф* большой емкости. Напряжение и ток обмотки возбуждения контролируют вольтметром *V* и амперметром *А*.

Отключение установки производят в обратной последовательности. Снижают напряжение возбуждения обмотки генератора до нуля, а затем выключают выключатель *ВК1*. Нажатием на кнопку *КнС1* выключают контактор *КТ1* и снимают нагрузку с генератора. И, наконец, нажимая на кнопку *КнС* контактором *КТ* выключают двигатель преобразователя. После окончания испытаний выключают выключатель *ВК* цепей управления и автоматический выключатель *АВ*.

Большинство конденсаторов повышенной частоты для электротермических установок имеют водяное охлаждение, поэтому при испытании охлаждающую систему конденсаторов подключают к водопроводной сети гибкими изоляционными шлангами. Количество охлаждающей воды, проходящей через конденсатор, регулируют вентилем. Давление воды на входе, которое не должно превышать $6 \cdot 10^5$ Па, контролируется манометром. При испытаниях необходимо следить за выходом воды из конденсаторов, поэтому трубки для спуска воды должны быть доступны для наблюдения. В случае прекращения

подачи охлаждающей воды напряжение с конденсаторов немедленно снимают.

Часто при испытаниях для охлаждения применяют воду с температурой на входе конденсаторов 30—35° С, для чего ее подогревают. В целях экономии используют оборотную воду, т. е. воду, которая циркулирует по замкнутой системе. Температура охлаждающей воды поддерживается в заданных пределах автоматически включением и выключением электроподогрева.

Испытания конденсаторов производят при полной компенсации емкостного тока, которая осуществляется подключением параллельно конденсаторам дросселя с определенным числом витков. Число витков дросселя выбирают в зависимости от емкости конденсаторов по заранее составленным таблицам или графикам.

При резонансе большие реактивные токи циркулируют только в колебательном контуре дроссель — испытуемые конденсаторы. Генератор загружается лишь активным током, который контролируется в первичной цепи испытательного трансформатора. В связи с большими токами в колебательном контуре, достигающими 1000 А и более, конденсаторы и дроссель располагают по возможности ближе друг к другу и надежно подключают к шинам испытательного трансформатора при помощи массивных гибких шин.

Правила и порядок работы на установках переменного тока повышенной частоты те же, что и для установок переменного тока промышленной частоты.

В настоящее время наряду с машинными преобразователями для испытания конденсаторов применяют полупроводниковые преобразователи частоты.

§ 68. Измерение тангенса угла потерь

Тангенс угла потерь (см. § 8) является одной из основных характеристик, определяющих качество конденсаторов.

Обычно тангенс угла потерь измеряют после испытания конденсаторов на электрическую прочность. Его предельно допустимые значения для каждого типа конденсаторов указывают в ГОСТах или ТУ. Измерение тангенса угла потерь конденсаторов (одновременно и емкости) производят в основном при помощи высоковольтных мостов переменного тока Р-5026, Р-507, которые предназначены для измерения емкости и тангенса угла потерь конденсаторов при напряжении до 10 кВ и частоте 50 Гц. Мост Р-507 (рис. 93) позволяет измерять емкости от 0,32 до 2800 мкФ с погрешностью, не превышающей ±1%, и тангенс угла потерь от 0 до 10% с относительной погрешностью от 5 до 30%.

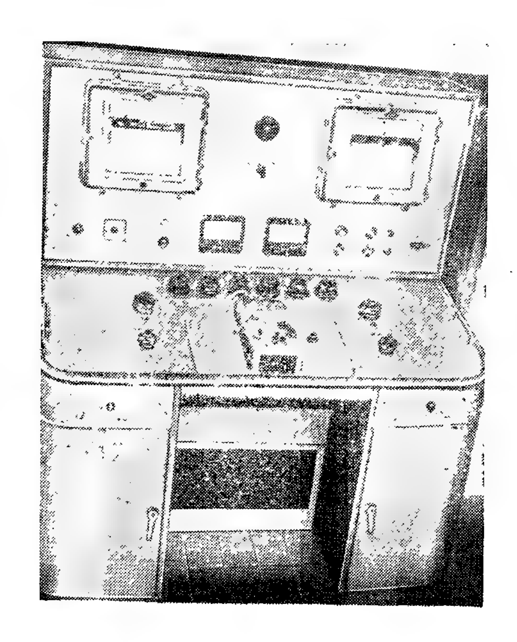


Рис. 93. Мост Р-507

Мост выполнен в виде передвижного пульта, в который встроены все элементы измерительной схемы. В пульт вмонтированы также элементы сигнализации, управления и блокировочные контакты силовой цепи испытательного трансформатора.

Размещают мост в кабине установки переменного тока вместе с автотрансформатором для регулировки напряжения испытательным трансформатором. Мост одновременно является пультом управления установки.

Измерение тангенса угла потерь и емкости конденсатора производят в такой последовательности. Испытуемый конденсатор устанавливают в кабину на изоляционную подставку и надежно подсоединяют к схеме. В

зависимости от испытательного напряжения в схему включают соответствующий образцовый конденсатор на панели левого отсека моста. Конденсатор Р-506 включают при испытательном напряжении до 1 кВ, а конденсатор Р-562 — при напряжении от 1 до 10 кВ.

В правом отсеке моста на коммутационной панели устанавливают перемычки на необходимый предел измерения по току (5, 10, 20, 50, 100 и 200 А). Для этого

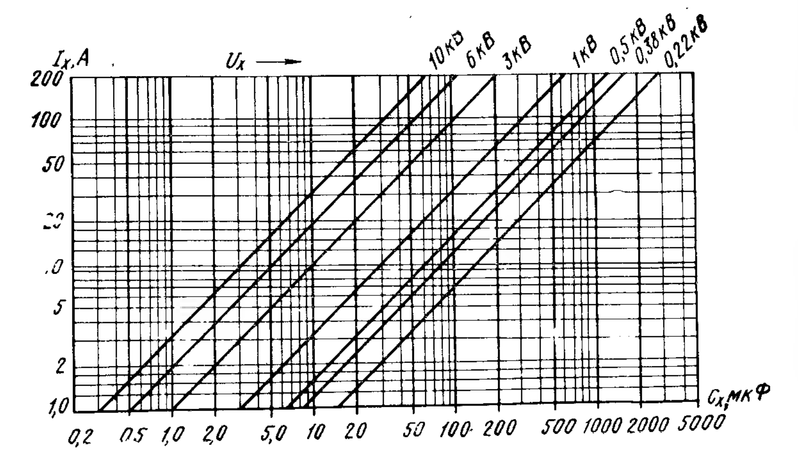


Рис. 94. Номограмма для выбора предела измерения по току

предварительно подсчитывают силу тока, А, который будет проходить по испытуемому конденсатору:

$$I_x = 0{,}314\, U_x C_x,$$

где U_x — испытательное напряжение, кВ; C_x — расчетная емкость испытуемого конденсатора, мкФ.

В зависимости от полученного значения I_x выбирают ближайший предел. Выбор нужного предела по току может быть произведен и по номограмме (рис. 94). Дверцы левого и правого отсеков и двери кабины, снабженные блокировкой, после переключений плотно закрывают. Переключатель рода работы ставят в положение «Ручное уравновешивание», а выключатель записывающей части — в положение «Выключено». Переключатель пределов $\Delta C_x\%$ переводят в положение Х2, а шкалу реохорда — в нулевое положение. Переключатель пределов измерения $\operatorname{tg}\delta_x\%$ устанавливают в положение Х1, а шкалу реохорда — в нулевое положение.

Рукоятки регулятора чувствительности вибрационного гальванометра и усилителя переводят в положение наименьшей чувствительности. Переключатель полярности гальванометра ставят в среднее положение, а переключатель освещения — в положение «127 В».

После выполнения указанных операций мост подготовлен к работе.

Включением выключателя с надписью «Индикатор» на вертикальной панели моста подают питание на цепи управления, гальванометр и усилитель. Загораются сигнальная лампочка над выключателем и зеленая сигнальная лампочка, а также появляется световое пятно на шкале гальванометра.

После прогрева усилителя (3—5 мин) переключатель полярности гальванометра устанавливают в одно из крайних положений и, нажав кнопку «Вкл», включают контактор, подающий напряжение сети на регулировочный автотрансформатор. При этом гаснет зеленая лампочка и загораются красные на вертикальной панели моста и над дверями кабины.

Нажатием на кнопку «Больше» поднимают напряжение до испытательного, наблюдая за показаниями амперметра и вольтметра. Показания амперметра $I_x\%$ при правильном выборе предела по току должны быть 20—100%. Установив требуемое значение испытательного напряжения, производят уравновешивание моста. Постепенно увеличивая чувствительность гальванометра и усилителя вращением рукояток магазина сопротивлений r_3 и рукоятки $\operatorname{tg}\delta_x\%$, размытие световой полосы гальванометра сводят до минимума.

После уравновешивания моста подсчитывают тангенс угла потерь и емкость испытуемого конденсатора. Тангенс угла потерь определяют умножением величины $\operatorname{tg}\delta_x\%$, отсчитанной по шкале реохорда, на множитель, полученный на шкале переключателя пределов. Емкость (мкФ) находят по формуле

$$C_x = C_0 r_3 I_{x\,н} \cdot 10^{-6},$$

где C_0 — емкость образцового конденсатора, пФ.

По окончании измерений каждого конденсатора следует уменьшить чувствительность гальванометра и

усилителя до минимума, нажатием на кнопку «Меньше» снизить до нуля испытательное напряжение, а нажатием на кнопку «Выкл» отключить напряжение сети от установки (при этом гаснут красные лампочки и загорается зеленая). Если измерения прекращают вообще, отключают и выключатель вибрационного гальванометра.

Мост Р-5026 предназначен для измерения емкостей в пределах от 10 до $5 \cdot 10^8$ пФ с погрешностью измерения от 0,5 до 2,5% в зависимости от измеряемой емкости. Пределы измерения тангенса угла потерь составляют $1 \cdot 10^{-4} \div 1$ с погрешностью измерения от 1 до 10%. Устройство и правила обслуживания мостов приводятся в технических описаниях и инструкциях по эксплуатации.

При измерениях на мостах емкости и угла потерь необходимо обращать особое внимание на создание надежного контакта при подключении конденсатора. Сечение соединительных проводов выбирают в соответствии с требованиями инструкции по эксплуатации мостов.

При измерении угла потерь конденсаторов большой емкости в результаты измерения необходимо вносить поправку на потери в соединительных проводах

$$\Delta \operatorname{tg} \delta = 2 \pi f r C_x,$$

где $\Delta \operatorname{tg} \delta$ — погрешность, вносимая проводами и вычитаемая из результата измерения; f — частота тока, Гц; r — сопротивление проводов, Ом; C_x — емкость конденсатора, Ф.

При параллельном соединении двух конденсаторов общий $\operatorname{tg} \delta$ может быть определен из известного соотношения

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{C_1 \operatorname{tg} \delta_1 + C_2 \operatorname{tg} \delta_2}{C_1 + C_2},$$

где C_1 и $\operatorname{tg} \delta_1$ — соответственно емкость и тангенс угла потерь первого конденсатора; C_2 и $\operatorname{tg} \delta_2$ — емкость и тангенс угла потерь второго конденсатора.

Эта формула позволяет измерением общего $\operatorname{tg} \delta$ при известных емкостях обоих конденсаторов и тангенса угла потерь одного из них определить тангенс угла потерь второго конденсатора. Таким способом определения

$\operatorname{tg} \delta$ часто пользуются, если емкость испытуемого конденсатора меньше нижнего предела измерения емкости моста.

Измерение на мостах требует строгого соблюдения правил техники безопасности, касающихся работ при высоких напряжениях.

§ 69. Измерение сопротивления изоляции

Сопротивление изоляции — это одна из основных качественных характеристик конденсаторов постоянного тока. Измерение сопротивления изоляции производят как между выводами конденсаторов, так и между выводами и корпусом. При измерении между выводами обычно определяют не абсолютную величину сопротивления изоляции, а постоянную времени конденсатора $R_{из}C$ (см. § 5).

Для измерения сопротивления изоляции конденсаторов применяют несколько методов: непосредственного отклонения, сравнения и саморазряда конденсатора. Кроме указанных методов используют также мостовые схемы и различные схемы с электронными лампами, выполняемые в виде отдельных приборов с градуированной шкалой и называемые мегомметрами, тераомметрами и т. п. Однако для измерения сопротивления изоляции силовых конденсаторов применяют главным образом метод саморазряда. Конденсатор заряжают от источника постоянного тока, затем отключают от него и выдерживают заданное время. Величину постоянной времени (Ом·Ф) находят по измерению напряжения на конденсаторе за время саморазряда согласно формуле

$$R_{из} C = \frac{\tau \lg e}{\lg U - \lg U_c},$$

где τ — время саморазряда, с; e — основание натуральных логарифмов ($e \approx 2{,}72$); U и U_c — соответственно начальное и конечное напряжения на конденсаторе, В.

Измерение напряжения на конденсаторе в процессе саморазряда производят электростатическими вольтметрами. В качестве источника тока используют высоковольтные установки постоянного тока. При этих измерениях необходимо принимать специальные меры

предосторожности, указанные в правилах техники безопасности.

Техническими требованиями на конденсаторы предусматривается измерение сопротивления изоляции как при нормальной, так и при повышенной температурах. Для измерения сопротивления при повышенных температурах конденсаторы предварительно разогревают до заданной температуры. Поверхности изолирующих деталей конденсаторов, находящихся в воздухе, перед измерением сопротивления изоляции тщательно протирают, чтобы исключить погрешность из-за токов утечки по поверхности.

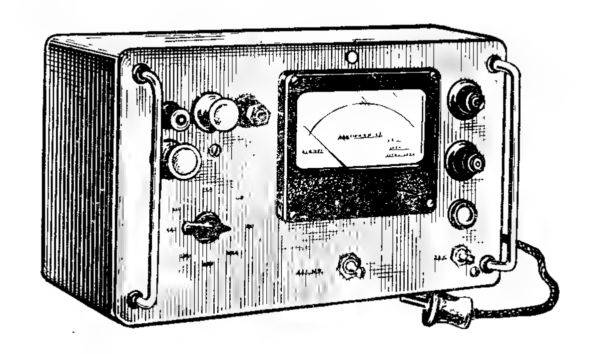


Рис. 95. Тераомметр Ф-57

Из приборов для измерения сопротивления изоляции конденсаторов чаще всего используют тераомметр Ф-57 (рис. 95), позволяющий измерять сопротивления до 10^{14} Ом при напряжении постоянного тока 120 В. Измерительная схема тераомметра построена на принципе сравнения токов, проходящих через известное и измеряемое сопротивления при подаче на них напряжения 120 В. Сравнение токов производится путем сравнения напряжений на образцовых сопротивлениях известной величины, включаемых в цепь сравниваемых токов. Падение напряжения измеряют электронным вольтметром с большим входным сопротивлением. Подробные описания конструкции и правила пользования этими приборами приводятся в заводских инструкциях.

§ 70. Типовые и периодические испытания

Типовые и периодические испытания в отличие от приемо-сдаточных охватывают более широкий круг различного рода испытаний и проводятся с целью глубокого изучения характеристик конденсаторов и проверки их соответствия всем требованиям ГОСТа или ТУ.

Типовые испытания конденсаторов проводят после разработки конструкций и освоения технологии изготовления, а также при изменении конструкции, материалов или технологии изготовления, если эти изменения могут оказать влияние на качественные характеристики конденсаторов.

При отсутствии каких-либо изменений в процессе серийного изготовления конденсаторы периодически испытывают в сроки, оговоренные в ГОСТе или ТУ. Конденсаторы для проведения типовых и периодических испытаний берутся из числа выдержавших приемо-сдаточные испытания и принятых ОТК.

Типовые и периодические испытания обычно заключаются в проверке термической стабильности или срока службы, влагоустойчивости, проверке циклическим воздействием температуры, холодоустойчивости, в испытаниях на высотность, механических, на тропикостойкость и др.

Объем и методику проведения тех или иных испытаний устанавливают в зависимости от назначения, режима и условий работы конденсаторов.

Испытания на термическую стабильность проводят в течение 48 ч при повышенном напряжении и максимально допустимой температуре окружающей среды. Конденсаторы считаются стабильными, если тангенс угла потерь в течение последних 10 ч остается неизменным. В отдельных случаях о стабильности судят и по другим параметрам конденсаторов (емкости, сопротивлению изоляции, температуре диэлектрика и др.).

Для испытаний конденсаторы помещают в термостат с электрическим обогревом и двойными стенками с тепловой изоляцией между ними. Температура в термостате поддерживается на заданном уровне автоматически. Выравнивание температуры по объему термостата осуществляется вентилятором, перемешивающим воздух.

Испытания конденсаторов для повышения коэффициента мощности производят напряжением 1,2 $U_н$ при температуре окружающей среды 45—55°C в зависимости от категории размещения. При испытании конденсаторов повышенной частоты для электротермических установок испытательное напряжение при номинальной частоте должно быть таким, чтобы испытательная мощность составляла 130% номинальной. Для конденсаторов с водяным охлаждением температура входящей воды поддерживается 30±2°C.

Конденсаторы постоянного тока, работающие в фильтровом режиме (ФМТ, ФМ), испытывают повышенным напряжением постоянного тока с наложением переменной составляющей определенного значения. Конденсаторы, работающие в импульсном режиме, подвергаются, как правило, испытанию на срок службы заряд — разрядными циклами. В зависимости от типа конденсаторов устанавливаются зарядное напряжение, сила и форма разрядного тока, количество и периодичность циклов. Конденсаторы должны выдержать заданное количество заряд — разрядных циклов без разрушения диэлектрика и изменения емкости.

Испытания на влагоустойчивость производятся выдержкой конденсаторов в камере влажности (гигростате) под номинальным напряжением или без напряжения при относительной влажности 95±3% и заданной температуре в течение обусловленного времени. После испытаний на поверхности конденсаторов не должно наблюдаться признаков повреждения (растрескивания или размягчения лакокрасочных или других покрытий, коррозии металлических деталей и т. д.) и нарушения герметичности. В отдельных случаях измеряются заданные параметры (тангенс угла потерь, сопротивление изоляции, емкость).

Камера влажности представляет собой термостат, над электронагревательными элементами которого расположена ванна с водой, предназначенная для создания в камере требующейся влажности. Относительную влажность измеряют психрометрами или волосяными гигрометрами.

Испытание циклическим воздействием температуры заключается в том, что конденсаторы в течение определенного времени выдерживают последовательно в камере холода, затем в камере тепла,

температура в которых заранее доведена до заданного значения. Время выдержки отсчитывается с момента установления в камерах требуемой режимом испытания температуры после загрузки конденсаторов. По окончании циклов конденсаторы выдерживают в нормальных условиях в течение времени, необходимого для приобретения ими по всему объему температуры окружающего воздуха. После испытаний проверяют герметичность конденсаторов.

Во время испытаний конденсаторов с избыточным давлением (СМР, ДМР и др.) измеряют давление внутри конденсатора, которое при предельной отрицательной температуре не должно быть ниже атмосферного, а при предельной положительной температуре превышать допустимых значений.

Проверка холодоустойчивости проводится в камерах холода. Конденсаторы помещают в камеру холода и выдерживают определенное время при заданной отрицательной температуре. По истечении времени испытания проверяют электрическую прочность, емкость и другие заданные параметры конденсаторов не вынимая их из камеры.

Испытаниям на влаго- и холодоустойчивость, а также циклическим воздействием температуры, как правило, подвергаются конденсаторы, предназначенные для наружных установок.

Испытание на высотность проводится приложением заданного напряжения к конденсаторам, помещенным в барокамеру, при пониженном испытательном давлении. Во время испытания не должно наблюдаться поверхностного разряда и пробоя конденсаторов.

Высотным испытаниям подвергаются конденсаторы, работающие при пониженном давлении.

Испытания на холодоустойчивость, температурными циклами и на высотность обычно проводят в термобарокамерах, которые позволяют получать в рабочей камере пониженное давление, а также отрицательные и положительные температуры. Камеры снабжают низковольтными и высоковольтными вводами для измерений и испытаний конденсаторов напряжением.

К механическим испытаниям относят испытания на вибропрочность, ударную прочность и испытания выводов конденсаторов на скручивание. Этим ис-

пытаниям обычно подлежат конденсаторы, которые в процессе эксплуатации подвержены вибрации и ударам.

Испытания на вибропрочность и ударную прочность проводят на специальных стендах (рис. 96). Конденсаторы закрепляют на платформе стенда и подвергают в течение заданного времени воздействию вибрации или ударной нагрузки с определенными частотой и амплиту-

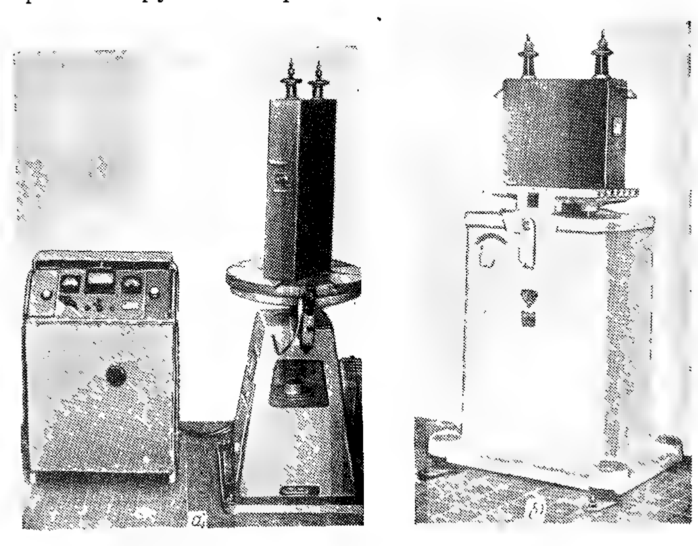


Рис. 96. Стенды для испытания конденсаторов:
а — на вибропрочность, б — на ударную прочность

дой колебаний. После испытаний не должно быть механических разрушений и повреждений, нарушения герметичности, изменения емкости и других заданных параметров.

Испытание выводов на скручивание производят приложением к резьбовым выводам конденсаторов на 10 с крутящего момента заданного значения. Конденсаторы крепят к неподвижной опоре за корпус, на выводы навертывают до упора гайки, к которым плавно прикладывают крутящий момент. В результате испытаний не должно быть механических повреждений выводов конденсаторов и нарушения их герметичности.

Испытания на тропикостойкость подвергают конденсаторы, предназначенные для работы в условиях тропического климата, отличающегося высокими влажностью и температурой. Кроме того, характерным для тропических условий является наличие большого количества спор, плесневых грибков и других микроорганизмов, которые, попадая на материалы, могущие служить для них питательной средой, и, быстро разрастаясь, вызывают сильное повреждение этих материалов. Вред могут наносить также различные насекомые (термиты) и грызуны. Поэтому к конденсаторам, предназначенным для стран с тропическим климатом, предъявляют особые требования в отношении герметичности и защиты их от коррозии, плесени и других воздействий. В частности, в лакокрасочные покрытия вводят фунгициды — вещества, ядовитые для плесневых грибков.

Тропикостойкость конденсаторов проверяют в камерах влажности при повышенных температурах. После испытаний не должно наблюдаться коррозии металлических частей, растрескивания, отслаивания или размягчения лакокрасочных покрытий, а также нарушения герметичности.

Типовые испытания, кроме того, могут включать измерения индуктивности и напряжения возникновения частичных разрядов конденсаторов. Так, например, при проведении типовых испытаний конденсаторов КСП, подвергающихся в условиях эксплуатации значительным перенапряжениям, предусматривается измерение напряжения возникновения частичных разрядов после воздействия напряжения различной величины и длительности приложения. После испытаний не должно быть снижения напряжения возникновения частичных разрядов.

Напряжение возникновения частичных разрядов измеряют с помощью специальных схем, содержащих испытательный трансформатор, резонансный контур с усилителем для выделения и усиления высокочастотных разрядов, а также осциллограф для наблюдения разрядов.

При типовых испытаниях конденсаторов с малой индуктивностью (ИК) предусматривается измерение собственной индуктивности конденсаторов. Индуктивность измеряют как осциллографированием и фотографированием кривой разрядного тока, так и определением резонансной частоты конденсатора при помощи генераторов стандартных сигналов (ГСС).

После определения резонансной частоты собственная индуктивность (Г) конденсатора

$$L_c = 1/4\pi^2 f_0^2 C,$$

где f_0 — резонансная частота, Гц; C — емкость конденсатора, Ф. Если в процессе типовых испытаний будет установлено, что хотя бы один конденсатор не соответствует требованиям какого-либо пункта ГОСТа или ТУ, обычно подвергают испытанию удвоенное количество конденсаторов. Если же при повторных испытаниях хотя бы один конденсатор не будет соответствовать требованиям, производство конденсаторов прекращают до выявления и устранения причин брака. После этого типовые испытания проводят вновь.

§ 71. Оформление технической документации

При проведении приемо-сдаточных, типовых и периодических испытаний результаты испытаний каждого конденсатора прежде всего заносят в рабочий журнал, который является первичным документом и должен постоянно находиться на испытательной станции.

В рабочий журнал заносят следующие данные: дату проведения испытаний, номер и тип конденсатора, результаты испытаний, измерений и вычислений. При типовых и периодических испытаниях, кроме того, большое значение имеет подробное и отчетливое описание условий испытаний, подготовки и состояния образцов, описание применяемой аппаратуры и т. д. Результаты испытаний подписывают лица, проводившие испытания, и контрольный мастер, которые несут ответственность за правильность испытаний и достоверность полученных данных.

Данные, занесенные в рабочий журнал, используют для составления таких документов, как паспорт конденсатора (при приемо-сдаточных испытаниях), протокол типовых и периодических испытаний, ведомость дефектов на забракованные конденсаторы, а также для составления сводных ведомостей при анализе качества выпускаемых конденсаторов.

Паспорт составляется на конденсаторы, выдержавшие приемо-сдаточные испытания, и является документом, удостоверяющим соответствие качества конденсаторов требованиям ГОСТа или ТУ. Паспорт содержит номер ГОСТа или ТУ, обозначение типа и номер конденсатора, его номинальные данные, сведения о результатах приемо-сдаточных испытаний, дату испытаний, подпись контрольного мастера и штамп ОТК.

Протокол типовых и периодических испытаний — это официальный технический документ, подтверждающий соответствие конденсаторов всем требованиям ГОСТа или ТУ. В протоколе указывают: дату проведения, объект и программу испытаний; методику испытаний, а также измерительную, испытательную и вспомогательную аппаратуру, погрешность измерения и расчетные данные; результаты испытаний, измерений и вычислений с приложением таблиц, графиков, фотографий, выводы. Протокол подписывают лица, проводившие испытания, и начальник испытательной станции.

Ведомость дефектов составляется на конденсаторы, забракованные при приемо-сдаточных испытаниях, и является сопроводительным документом при передаче дефектных конденсаторов на исправление. В ведомости указывают дату передачи конденсаторов на исправление, тип и номер конденсаторов, а также виды дефектов. Ведомость подписывает контрольный мастер испытательной станции.

При оформлении технической документации не допускаются исправления и помарки, записи должны быть четкими и ясными. Особенно тщательно следует заполнять бланки паспортов, которые направляют заказчику вместе с конденсаторами.

§ 72. Исправление дефектных конденсаторов

В процессе приемо-сдаточных испытаний часть конденсаторов бракуют как не соответствующие требованиям ГОСТа или ТУ. Все забракованные конденсаторы могут быть разбиты на две группы: с внешними дефектами и с внутренними дефектами.

К внешним дефектам конденсаторов относятся течи в местах уплотнений, сварки или пайки и механическое повреждение корпуса и изоляторов. Все конденсаторы с внешними дефектами подлежат исправлению.

К внутренним дефектам конденсаторов относятся пробой на корпус, пробой между обкладками, заниженная емкость, обрыв или короткое замыкание, завышенный тангенс угла потерь, высокий перегрев и вспучива-

ние корпусов при длительных испытаниях в результате возникновения критических частичных разрядов.

Конденсаторы с внутренними дефектами в свою очередь делятся на две группы: подлежащие исправлению и не подлежащие исправлению.

Во вторую группу входят конденсаторы с завышенным тангенсом угла потерь, высоким перегревом и вспученными корпусами. Эти конденсаторы не могут быть восстановлены и являются окончательным браком.

Исправление дефектных конденсаторов производится на специально выделенных участках, оборудованных необходимыми подъемно-транспортными устройствами, приспособлениями и измерительной аппаратурой. Конденсаторы на исправление подают по ведомости дефектов, составляемой на контрольно-испытательной станции, и подбирают по типам и виду дефектов.

Исправление конденсаторов с внешними дефектами не представляет трудностей. Течи конденсаторов в металлических корпусах устраняют подваркой или подпайкой. Конденсатор устанавливают так, чтобы место течи находилось вверху. Из конденсаторов с избыточным давлением предварительно сливают избыток пропитывающей жидкости. Подварку мест течи необходимо производить быстро во избежание сильного нагрева корпуса. При подпайке место течи зачищают напильником или наждачным полотном до блеска металла и слегка смазывают раствором хлористого цинка. Затем место пайки хорошо прогревают паяльником и запаивают оловянно-свинцовым припоем. Течи в паяных швах устраняют только подпайкой.

Течи в местах уплотнения конденсаторов в фарфоровых корпусах устраняют дополнительной затяжкой болтов. Если после затяжки болтов течь не прекращается, заменяют резиновые прокладки. При устранении течи конденсаторов в бакелитовых корпусах необходимы разборка и повторная сборка крышки с корпусом. При механическом повреждении изоляторы заменяют.

Исправление конденсаторов с внутренними дефектами связано с их вскрытием и извлечением выемной части из корпуса. Наибольшую сложность представляет вскрытие конденсаторов в металлических корпусах, имеющих сварное соединение крышки с корпусом. При вскрытии таких конденсаторов срезают

крышку по сварному шву, что позволяет использовать корпуса для повторной сборки конденсаторов. Конденсаторы вскрывают на фрезерных станках или электрическими ножницами, которые применяют при толщине металла корпусов до 1,5 мм.

Перед вскрытием конденсаторов с пропиткой хлорированными дифенилами предварительно сливают жидкость. Для этого у конденсаторов отпаивают пробки заливочных отверстий. После разъединения крышки с корпусом отпаивают отводы выемной части от выводов изоляторов, удаляют верхние изоляционные прокладки, из бумажно-масляных конденсаторов сливают масло и извлекают выемную часть из корпуса на рабочий стол для выявления дефектов. Если выемная часть состоит из нескольких пакетов, ее расчленяют на отдельные пакеты. Для сбора пропитывающей жидкости из дефектных конденсаторов используют противень, сообщающийся трубопроводом с отстойниками очистительной станции.

В конденсаторах с пробоем на корпус места пробоя обнаруживают внешним осмотром. Наиболее вероятными местами пробоя на корпус могут быть:

пробой или перекрытие по поверхности нижней части изоляторов при их загрязнении или недостаточном уровне пропитывающей жидкости в конденсаторе;

пробой или перекрытие с отвода пакета на крышку корпуса вследствие сокращения расстояния между ними из-за неправильной укладки отводов при сборке или вследствие повреждения изоляции отвода;

пробой по телу изолятора с вывода на крышку при некачественном фарфоре;

пробой корпусной изоляции из-за ее недостаточной толщины или механических повреждений (на сгибах);

пробой с торцов секций на корпус при отсутствии изоляционных прокладок между дном корпуса и пакетом или при неправильной укладке корпусной изоляции в результате небрежной сборки;

повреждение (выгорание) корпусной изоляции вследствие пробоя секций между обкладками при выходе очага пробоя наружу;

электрические разряды между скрепляющими выемную часть металлическими деталями (щеками, хомутами и др.) и корпусом при отсутствии контакта между ними.

Осмотр для выявления мест пробоя на корпус по первым трем пунктам необходимо проводить непосредственно после разъединения крышки с корпусом до отпайки выемной части от выводов изоляторов. Места пробоя или перекрытия легко находят по следам сажи и электрической дуги. Обнаруживают также возможные обрывы между отводами выемной части и выводами изоляторов.

В конденсаторах с пробоем секций между обкладками, с заниженной или завышенной емкостью, обрывом цепи или коротким замыканием дефекты выявляют как внешним осмотром, так и электрическими испытаниями отдельных пакетов. Внешним осмотром находят видимые дефекты, такие, как наружные очаги пробоя секций, обрывы или перегорания секционных предохранителей, распайки и неправильную пайку схемы.

Электрическими испытаниями выявляют скрытые дефекты, к которым относятся внутренние пробои в секциях, обрывы и короткие замыкания обкладок, заниженная или завышенная емкость секций, распайки и обрывы в схеме соединения.

Поскольку в выемных частях конденсаторов одновременно могут быть и видимые, и невидимые дефекты, электрические испытания необходимо проводить вне зависимости от обнаружения видимых дефектов. Электрические испытания состоят из проверки пакетов на короткое замыкание и измерения емкости.

Проверкой на короткое замыкание определяют поврежденные секции с пробоем диэлектрика и замыканием обкладок, а также обрывы или распайки схемы соединения. Для этой проверки применяют специальные приборы, позволяющие получить на выходе выпрямленное напряжение 220—250 В. В качестве индикатора в приборе используется неоновая трубка. Напряжение от прибора к конденсатору подается при помощи испытательных наконечников с изолированными рукоятками.

После проверки прибором на конденсаторах остается электрический заряд. Во избежание поражения электрическим током при соприкосновении конденсатор следует тотчас же после проверки разрядить на сопротивление.

В пакетах с последовательным соединением секций дефекты выявляют поочередным подключением прибора к токоподводам каждой секции. На обнаруженных дефектных секциях делают пометки.

В пакетах с последовательно-параллельным соединением всех секций вначале выявляют поврежденную группу, затем распаиванием токоподводов с одной стороны разъединяют секции и поочередной проверкой каждой из них выявляют поврежденные.

В пакетах с параллельным соединением всех секций вначале отпаивают токоподводы от общей шины с одной стороны, а затем поочередной проверкой находят поврежденные секции. При наличии секционных предохранителей проверяют на короткое замыкание пакет в целом. Если обнаружено короткое замыкание, для выявления дефектных секций их отделяют от общей шины со стороны предохранителей. В пакетах с предохранителями может происходить не только перегорание предохранителей из-за пробоя секций, но и их механическое повреждение от воздействия электродинамических усилий в момент разряда конденсатора накоротко. При механических повреждениях предохранителей секции не повреждаются, поэтому надо проверять секции как с перегоревшими, так и с механически поврежденными предохранителями для выявления годных секций.

Измерением емкости обнаруживают секции или группы секций с заниженной и завышенной емкостью. Емкость определяют после того, как обнаружены все другие дефекты в пакете. Выявление дефектных секций осуществляется в том же порядке, что и определение дефектов проверкой на короткое замыкание.

Конденсаторы с внутренними дефектами исправляют только после тщательного выявления всех дефектов. В зависимости от вида дефектов конденсаторы исправляют с распрессовкой пакетов или без нее.

Без распрессовки пакетов устраняют повреждения, связанные с пробоем изоляторов, перекрытием по изолятору и с отводом на крышку, с обрывом и распайкой схемы соединения, а также другие дефекты, не относящиеся к повреждениям секций и корпусной изоляции. В этом случае устраняют обрывы и распайки в схеме соединения, затем пакет промывают чистой пропитывающей жидкостью, чтобы удалить сажу и другие загрязнения, замеряют его емкость и при нормальной емкости вставляют в корпус. Если выемная часть состоит из

нескольких пакетов, перед установкой в корпус производится ее сборка.

Распрессовка пакетов выполняется при исправлении конденсаторов с завышенной или заниженной емкостью; с поврежденными секциями и корпусной изоляцией и вызвана необходимостью замены поврежденных деталей исправными. Для распрессовки пакетов применяют ручные винтовые или пневматические горизонтальные прессы. Поврежденные детали заменяют в следующем порядке:

пакет укладывают на стол пресса и сжимают так, чтобы можно было снять стяжные хомуты,

после снятия хомутов запрессовку секций ослабляют, осторожно отделяют и вынимают дефектные секции и на их место укладывают заранее подготовленные однотипные исправные секции, взятые из других поврежденных пакетов. При повреждении корпусной изоляции ее также заменяют на столе пресса. Заменять поврежденные детали следует быстро, не допускать разбухания секций и попадания в них воздуха.

Во вновь запрессованном пакете измерением емкости проверяют исправность секций и перепаивают их токоподводы по рабочей схеме. Затем пакет промывают пропитывающей жидкостью, вставляют в корпус (если не требуется предварительная сборка выемной части). Сверху пакета укладывают изоляционные прокладки и на корпус устанавливают крышку. Каждому исправленному конденсатору присваивают порядковый номер.

Перемонтированные конденсаторы передают для последующей приварки крышки, припайки изоляторов и вакуумной обработки.

Для предохранения от увлажнения пакеты конденсаторов непосредственно после установки в корпус передают на сварку и до вакуумной обработки герметизируют пробками.

Во избежание ухудшения качества конденсаторов исправлять их следует в чистом сухом помещении. Особую чистоту необходимо соблюдать при исправлении выемной части. Вскрытые конденсаторы должны находиться как можно меньше на воздухе и особенно без пропитывающей жидкости. При перепаивании схемы пакетов бумажно-масляных конденсаторов в качестве флюса применяют только канифоль. Перепайка схемы конденсаторов, пропитанных хлорированными дифенилами, должна производиться без применения флюсов. В этом случае можно использовать водный раствор хлористого цинка лишь для очистки паяльника от нагара.

Термовакуумной обработке подвергают все конденсаторы, в процессе исправления которых выемная часть (пакет) извлекалась из корпуса даже на непродолжительное время. Термовакуумная обработка предназначена для удаления из диэлектрика конденсаторов воздушных включений и влаги, которые могли проникнуть в него в процессе выявления и устранения дефектов. Надежность работы отремонтированных конденсаторов в значительной степени зависит от того, насколько правильно проведена вакуумная обработка. Влияние процесса вакуумной обработки на электрические характеристики конденсаторов см. в § 55.

Термовакуумная обработка конденсаторов после исправления производится на тех же установках, которые применяют для вакуумной сушки и пропитки конденсаторов. Перед загрузкой в шкафы у конденсаторов снимают пробки с заливочных отверстий. После загрузки конденсаторы разогревают до 80—90° С с постепенным снижением давления от атмосферного до 1—0,1 Па. Время разогрева ориентировочно составляет 20 ч. Затем конденсаторы выдерживают при остаточном давлении не более 1 Па в течение 24—30 ч и производят их заливку и пропитку. Конденсаторы, прошедшие вакуумную обработку, герметизируют и в обычном порядке передают на испытание.

Контрольные вопросы

1. В каких документах указываются требования, предъявляемые к конденсаторам?
2. Как проверяют конденсаторы на герметичность?
3. Как измеряют и определяют емкость трехфазных конденсаторов?
4. Что необходимо знать при измерении малых емкостей?
5. Для чего производят испытания конденсаторов повышенным напряжением?
6. Как обнаруживают пробой изоляции конденсатора при испытании повышенным напряжением?
7. Каковы принцип действия, устройство и правила обслуживания испытательных установок переменного тока?
8. С какой целью используют дроссели при испытаиин конденсаторов?

9. Каковы принцип действия, устройство и правила обслуживания испытательных установок постоянного тока?

10. Расскажите о принципе действия, устройстве и правилах обслуживания испытательных установок повышенной частоты.

11. Каковы принцип действия, устройство и правила обслуживания моста Р-507?

12. Для чего необходимо надежное подключение выводов конденсатора к мосту при измерении тангенса угла потерь?

13. Как измеряют сопротивление изоляции методом саморазряда?

14. Зачем надо закорачивать выводы конденсатора непосредственно после испытания напряжением?

15. Каков порядок исправления дефектных конденсаторов?

ЛИТЕРАТУРА

Дроздов Н. Г., Никулин Н. В. Электроматериаловедение. — М.: Высшая школа, 1973.

Касаткин А. С. Электротехника. — М.: Высшая школа, 1973.

Корицкий Ю. В. Электротехиические материалы. — М.: Энергия, 1976.

Кучинский Г. С. Высоковольтные импульсные конденсаторы. — М.: Энергия, 1973.

Кучинский Г. С. и др. Силовые электрические конденсаторы. — М.: Энергия, 1975.

Никулин Н. В. Справочник молодого электрика по электротехническим материалам и изделиям. — М.: Высшая школа, 1976.

Правила устройства электроустановок. — М.: Энергия, 1965.

Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности электроустановок потребителей. — М.: Атомиздат, 1975.

Ренне В. Т. Электрические конденсаторы. — М.: Энергия, 1969.

Ренне В. Т., Багалей Ю. В., Фридберг И. Д. Расчет и конструирование конденсаторов. — Киев: Техника, 1971.

Ренне В. Т. Пленочные конденсаторы с органическим диэлектрнком. — М.: Энергия, 1973.

Сборник действующих правил техники безопасности в электротехнической промышленности. — М.: Энергия, 1974.

Тареев Б. М. Физика диэлектрических материалов. — М.: Энергия, 1973.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Антон Иванович Гулевич,
Алексей Петрович Киреев

ПРОИЗВОДСТВО СИЛОВЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Редактор М. В. Золоева. Художник А. И. Шавард. Художественный редактор Т. В. Панина. Технический редактор Л. А. Григорчук. Корректор Г. А. Чечеткина

ИБ № 2761

ЭГ-375. Сдано в набор 17.09.80. Подп. в печать 30.03.81. Т-06537. Формат 84×108¹/₃₂. Бум. тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 15,12 усл. печ. л. 15,22 усл. кр.-отт. 14,63 уч.-изд. л. Тираж 15 000 экз. Зак. 1115. Цена 50 коп.
Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14. Издательство «Высшая школа»
Московская типография № 8 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, Хохловский пер., 7.